U d'/of OTTAWA
39003000027010

L. Pernigot
Lucy

De la Méthode

dans

les Sciences

De la Méthode
dans
les Sciences

Par MM. les Professeurs :

H. BOUASSE (Toulouse),
Pierre DELBET (agrégé, Faculté de Médecine, Paris),
E. DURKHEIM (Sorbonne), A. GIARD (de l'Institut), A. JOB (Toulouse),
F. LE DANTEC (chargé de cours, Sorbonne),
L. LÉVY-BRUHL, (Sorbonne), G. MONOD (de l'Institut),
P. PAINLEVÉ, de (l'Institut),
Emile PICARD (de l'Institut), Th. RIBOT (de l'Institut),
J. TANNERY, (de l'Institut),
P.-F. THOMAS (Philosophie, Versailles),

Université d'Ottawa
BIBLIOTHÈQUES
LIBRARIES
University of Ottawa

FÉLIX ALCAN, ÉDITEUR
108, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, PARIS

1909

Tous droits de reproduction et de traduction réservés.

Q
175
.D44
1909
v.1

AVANT-PROPOS

Depuis Auguste Comte, la philosophie des sciences, et surtout la Méthodologie, ont inspiré tant de travaux et pris une telle importance que, dans les divers ordres d'enseignements, nos programmes ont dû s'assouplir pour leur faire, à chaque réforme nouvelle, une place un peu plus large. — Et ces programmes modifiés que l'on n'imposait guère au début qu'aux élèves de philosophie, on les a successivement imposés aux élèves de Mathématiques élémentaires, puis à tous ceux qui se destinent à nos grandes Écoles : École normale, Ecole polytechnique et Saint-Cyr, des épreuves écrites et des épreuves orales permettant, dans les examens et les concours, de sanctionner les efforts et les succès.

Or, pour les aider dans ces études, les élèves n'ont eu jusqu'ici que deux sortes d'ouvrages de très inégale valeur : les ouvrages originaux dus à la plume de savants qui sont

en même temps des philosophes, et les autres, c'est-à-dire les Recueils de morceaux choisis et puisés dans ces ouvrages, et les Manuels qui les résument. — Les premiers de ces ouvrages resteront, sans doute, les guides les meilleurs, ceux auxquels il faudra toujours recourir en dernier ressort; malheureusement il est rare qu'on les trouve en nombre suffisant dans les bibliothèques de nos collèges, et plus rare encore, lorsqu'on les y trouve, qu'ils rendent les services qu'on en attend, soit parce qu'ils sont trop étendus pour être lus avec fruit, soit parce qu'ils sont trop ardus pour être compris de tous. Quant aux seconds, dont l'utilité n'est pas contestable, leurs auteurs eux-mêmes confessent qu'ils ne sauraient suffire à compléter les leçons du maître. Il faudrait donc pour échapper à ces inconvénients un ouvrage qui réunît les principales qualités de ceux qui précèdent, sans en garder les défauts; qui eût, par conséquent, la valeur scientifique et philosophique des uns, et la concision et la simplicité ordinaires des autres.

Il nous a semblé que le meilleur moyen d'obtenir un tel ouvrage, était de le demander aux savants eux-mêmes, et aux savants « les plus représentatifs » de chaque science particulière, de telle sorte que, sur les différentes méthodes, nous ayons des pages d'une

indiscutable valeur, leurs auteurs nous parlant, non par ouï-dire, mais par expérience, et pouvant, comme Descartes, justifier les procédés qu'ils décrivent « par les fruits qu'ils en ont déjà recueillis. » — Ce sont précisément ces pages que nous publions aujourd'hui et qui constituent comme une série de petits « discours sur les méthodes ».

Ainsi groupées, ces pages risquent fort de manquer d'unité, mais il n'y aurait à le regretter que si, en les rapprochant, on s'était proposé moins de faire réfléchir que de dogmatiser. Ce que l'on a voulu, au contraire, c'est mettre entre les mains des élèves et des professeurs, des textes qui forcent les uns et les autres à penser. — Il est possible que plusieurs d'entre eux provoquent d'ardentes discussions; mais par cela même qu'ils sont signés de noms dont l'autorité est reconnue de tous, leurs contradicteurs seront forcés de multiplier leurs arguments et d'avoir, pour ainsi dire, deux fois raison pour avoir raison, ce qui ne peut qu'être profitable à tous.

Il ne nous reste donc qu'à remercier les maîtres qui ont bien voulu répondre à notre appel dans l'intérêt commun de la science et de la philosophie.

P. Félix Thomas.

DE LA MÉTHODE
DANS LES SCIENCES

DE LA SCIENCE

I

De très bonne heure, l'humanité dut compter des esprits plus attentifs que leurs congénères à l'observation des phénomènes courants; ce furent les premiers savants. Ils ont allumé les premiers feux et enseigné à fabriquer les instruments des âges préhistoriques. Un certain sentiment de curiosité désintéressée se mêlait-il aux buts pratiques qu'ils voulaient atteindre? On pourrait discuter là-dessus, comme le font certains archéologues sur l'art des populations des cavernes, où on trouve des artistes capables de dessiner et de peindre d'un trait si sûr les mouvements des animaux familiers. Si il est vrai que, dans ces temps reculés, l'art a toujours été surajouté à l'utile, il en a sans doute été de même de l'effort ayant seulement pour but de satisfaire un vague sentiment de curiosité. Mais, ce que nous pouvons présumer de la science préhistorique se réduira toujours à peu

de chose, et c'est avec les anciennes civilisations de la Chaldée et de l'Egypte que commence l'histoire de la science. La géométrie semble y avoir eu un caractère expérimental. On enseignait à Babylone que le côté de l'hexagone régulier est égal au rayon ; c'était là, probablement, un fait d'observation. Il a été l'origine de l'importance qu'a prise le nombre soixante, correspondant à la sixième partie de la circonférence, partagée en trois cent soixante degrés, ce dernier nombre répondant à la durée de l'année évaluée grossièrement à trois cent soixante jours.

La géométrie cultivée sur les bords du Nil n'était peut-être pas moins expérimentale. Les arpenteurs de Thèbes savaient qu'un triangle dont les côtés sont proportionnels à trois, quatre et cinq, est rectangle, et c'est en utilisant cette propriété qu'ils élevaient des perpendiculaires. Ainsi la géométrie égyptienne apparaît aux historiens de la science comme un ensemble de règles pratiques, dont l'origine est d'ailleurs parfois difficile à deviner, comme il arrive pour le carré de seize neuvièmes, qui représentait, d'après un papyrus de la dix-huitième dynastie, le rapport de la circonférence au diamètre. Ne méprisons pas toutefois cette mathématique, que l'on a appelée préscientifique, sous prétexte qu'elle n'avait qu'un but utilitaire. D'abord, il ne me paraît guère possible qu'elle n'ait eu ses parties théoriques, quoiqu'on ne puisse fournir à ce sujet aucun témoignage précis et ensuite, les faits mathématiques et astronomiques dont la connaissance est due aux Egyptiens et aux Chaldéens, ont été le point de départ indispensable pour les spéculations ultérieures.

Si on veut trouver une science plus spéculative et des vues générales sur l'univers, il faut les chercher dans les sanctuaires où s'élaboraient des cosmogonies qui furent, dans leurs temps, de véritables théories scientifiques. L'action des dieux et des esprits y remplace sans doute les forces naturelles, mais il serait injuste de ne pas reconnaître l'effort de coordination et de sélection dont elles témoignent. A la place des esprits innombrables qui, pour l'homme préhistorique, comme pour le sauvage moderne, peuplaient le monde, un nombre relativement restreint de principes divins est intervenu, et ce travail de simplification a un caractère scientifique. Ces cosmogonies qui, une fois invariablement fixées, devaient être ensuite, au moins dans certaines religions, un embarras pour le développement ultérieur de la pensée scientifique, ont constitué à leurs débuts un réel progrès.

On fait généralement honneur aux Grecs d'avoir créé la science rationnelle et désintéressée ; c'est le miracle grec, dont aimait à parler Ernest Renan. Nous croyons moins aujourd'hui à ces discontinuités. Qu'il s'agisse d'art ou de science, l'étude des temps plus récents nous a habitués à l'idée d'une lente évolution, et il en a été sans doute en Grèce pour la science comme pour l'art. Quand les physiciens d'Ionie spéculaient sur les principes des choses, ils continuaient le travail de simplification et de réduction dont les religions orientales, et surtout la religion égyptienne, nous donnent des exemples. Car il ne faut pas oublier qu'il y avait dans ces vieilles cosmogonies des forces auxquelles les dieux

mêmes étaient soumis, et nous pouvons nous représenter Thalès de Milet, et surtout Anaximandre et Anaximène comme achevant une laïcisation commencée bien des siècles auparavant.

Elles n'en marquent pas moins une date dans l'histoire de l'esprit humain, ces spéculations à la fois ambitieuses et naïves où tout est ramené à une substance unique, et où le mouvement apparaît comme un facteur essentiel; la science grecque, à ses débuts, eut toutes les audaces. Avec un peu d'effort, on a pu retrouver chez les premiers penseurs de la Grèce des pressentiments de quelques principes généraux de la science moderne, mais il convient de ne pas exagérer de tels rapprochements qui sont superficiels. Le point capital à noter est que la science rationnelle, dès ses premiers pas, cherche une explication de tous les phénomènes naturels, en partant d'un petit nombre de principes. Si prématurée que fût une telle tentative, un but apparaissait, dont la vision devait exercer, indirectement au moins, une grande influence sur le développement de la science positive.

Le merveilleux développement pris chez les Grecs par les sciences mathématiques eut une importance plus grande encore. Au nom de Pythagore se rattache l'explication de toutes choses par les nombres, et une formule célèbre de l'école pythagoricienne, qui était toute une métaphysique, était que « les choses sont nombres ». Avec Pythagore et ses successeurs, la géométrie se constitue définitivement comme une science rationnelle, partant d'un certain nombre de concepts, de définitions et d'axiomes et se développant d'une manière purement logi-

que. Ses progrès incessants pendant plusieurs siècles en firent le type idéal de la science, où tout est d'une intelligibilité parfaite, ce qui faisait écrire à Platon sur la porte de son école : « Que personne n'entre ici, s'il n'est géomètre. » Pour les Grecs, la réalité sensible n'est qu'une réalité incomplète; ils croient à une réalité intelligible plus réelle encore, et qui ne change pas; tel est, en particulier, le monde des formes géométriques. Il importe toutefois de remarquer que cette science idéale de la géométrie, étudiant des objets rationnellement construits, ne perd pas contact avec l'intuition spatiale d'où elle tire toutes ses conceptions Il paraissait donc naturel que l'instrument mathématique pût être utilisé pour une connaissance générale de l'univers, le réel étant, en quelque sorte, le monde sensible vu à travers les concepts de l'arithmétique et de la géométrie. Il suffit de rappeler ici les spéculations pythagoriciennes et platoniciennes sur la musique et les phénomènes célestes, suivies plus tard des systèmes astronomiques d'Hipparque et de Ptolémée. Ainsi, sous l'influence d'un esprit épris de clarté et simplifiant tout pour tout comprendre, la science positive tendait à prendre la forme mathématique; cette tendance n'a fait que s'accroître avec le temps, et nous aurons à dire dans quelle mesure elle nous apparaît aujourd'hui comme légitime.

Dans la philosophie et la science hellènes, simplicité, intelligibilité et vérité se montrent indissolublement liées. Il faut y joindre la beauté, le plus bel arrangement des choses étant aussi, d'après les Pythagoriciens, le plus vrai. La physique et la cosmologie des Grecs furent œuvre,

non seulement de savants, mais aussi d'artistes et de poètes. Leur science, à bien des égards, est donc bien loin de la nôtre; nous aurons toutefois l'occasion de rencontrer plus d'un point de contact avec l'esprit grec dans le maniement de nos théories et de nos hypothèses.

Dans ces vues rapides, nous n'avons pas voulu faire une esquisse de l'histoire de la science antique. C'est ainsi que nous n'avons pas parlé de la science expérimentale; si les Grecs ont peu expérimenté, il y eut parmi eux d'excellents observateurs, comme en témoignent assez l'œuvre immense d'Aristote en zoologie, et antérieurement les fines observations d'Hippocrate. Mais il n'en reste pas moins vrai que les mathématiques ont été pour le génie hellène la science par excellence; c'est dans ce domaine que la Grèce fit surtout œuvre scientifique durable. Depuis le temps de Pythagore, ses écoles géométriques sont restées célèbres, ne se bornant pas à l'étude des propriétés des figures, mais cultivant aussi une algèbre géométrique dans laquelle on raisonnait non sur les nombres, mais sur les grandeurs.

En même temps se développait une arithmétique géométrique, et une des phases les plus intéressantes de son développement fut le conflit qui, chez les Pythagoriciens, s'éleva à ce sujet entre le nombre et la grandeur à propos des incommensurables. Plus tard, les procédés d'exhaustion que l'on trouve dans Eudoxe et dans Euclide appartiennent déjà au calcul intégral, et le plus grand géomètre de l'antiquité, Archimède, doit compter parmi les fondateurs du calcul infinitésimal. La science positive

paraît, dès l'époque de la première École d'Alexandrie, se désintéresser peu à peu des théories philosophiques. Rien ne nous fait connaître sur ces sujets les opinions d'Archimède, mais ses profondes études sur la mécanique nous le montrent préoccupé des applications pratiques qu'avait longtemps dédaignées un amour ardent pour les spéculations métaphysiques. Avec Eratosthène et Hipparque, les applications de la géométrie à l'astronomie prirent le plus brillant essor ; déjà auparavant, dès le milieu du IIIe siècle avant notre ère, Aristarque de Samos avait édifié, sur le système du monde, l'hypothèse abandonnée après lui de la rotation de la terre autour du soleil, que Copernic devait reprendre seulement dix-huit siècles plus tard.

II

Cette excursion à travers l'antiquité a mis en évidence les diverses tendances qui, de très bonne heure, se sont développées relativement à l'objet même de la science. Si nous voulions continuer cette revue, nous les retrouverions jusqu'à nos jours, et, pour ne prendre qu'un exemple, de même que Pythagore disait que les choses sont nombres, Descartes affirme que l'étendue est l'essence des choses matérielles. Aujourd'hui encore, ces divers points de vue concourent à former l'opinion que l'homme, une fois acquis un certain degré de culture, se fait couramment de la science. Comme le dit Montaigne, « c'est un grand ornement que la science », et il ajoute aussitôt : « c'est un outil de merveilleux service », c'est-à-dire que le beau et l'utile

s'y rejoignent et sont inséparables; il y faut joindre encore notre naturelle curiosité et notre désir de connaître le vrai. Mais ces divers éléments peuvent se juxtaposer à des degrés variables, et il s'en faut que les mêmes mots soient entendus par tous de la même façon. Ainsi, nous l'avons dit déjà, les idées du beau et du simple ont pu, partiellement au moins, recouvrir l'idée du vrai pour quelques penseurs de la Grèce. Nous devons donc nous attendre à rencontrer chez les savants et chez les esprits philosophiques des opinions très diverses sur l'objet de la science et sur sa valeur; de plus, dans les différentes sciences particulières, la variété des problèmes et des méthodes concourt encore à accroître cette diversité. Sans nous astreindre à des classifications, toujours insuffisantes dans leur rigidité, nous allons jeter un coup d'œil sur les principales tendances qui se manifestent à notre époque, quant au but et à la valeur de la science.

On doit tout d'abord reconnaître que l'importance prise par la science dans nos sociétés modernes provient avant tout des services incomparables qu'elle rend à l'humanité. Le plus grand nombre considère, suivant le mot de Bacon, que la science et la puissance humaine se correspondent et vont au même but. Il admire surtout dans la science le merveilleux spectacle des applications si variées qui ont tant modifié les conditions d'existence des peuples civilisés; c'est un genre de valeurs aisément appréciable. Il y a même un danger dans ces constatations trop faciles, car on n'a qu'une vue très incomplète si on ne se rend compte des rapports qui

existent entre ces brillantes manifestations de l'activité humaine et la science théorique et désintéressée. Les idées théoriques ont souvent été le germe fécond d'où sont sortis d'importants progrès dans l'industrie, dans l'agriculture, dans la médecine. Les rêveurs scientifiques, qui semblent perdus dans leurs spéculations, sont à leur manière des hommes pratiques : l'application vient quelquefois par surcroît. La source tarirait promptement, si un esprit exclusivement utilitaire venait à dominer dans nos sociétés trop préoccupées de jouissances positives.

L'histoire des sciences montre combien cette dépendance a toujours été intime entre la science pure et les applications. Ces influences réciproques ont agi dans l'un et l'autre sens, la pratique conduisant ici à la spéculation, tandis que les vues théoriques ont été ailleurs l'origine de recherches pratiques. Il suffit de rappeler quelques exemples. Dans son immortel ouvrage sur la *Puissance motrice du feu*, Sadi Carnot, en se proposant d'expliquer et d'étendre les services que peuvent rendre les machines à feu, a créé la thermodynamique d'où est née l'énergétique moderne; de même les recherches industrielles de Sainte-Claire Deville sur le platine ont été l'origine de ses études sur la dissociation d'où devait sortir la mécanique chimique. D'autre part, Newton, en écrivant le livre des *Principes mathématiques de la philosophie naturelle*, ne pensait guère aux navigateurs qui devaient plus tard utiliser quelque *Connaissance des Temps* construite d'après les lois de la gravitation universelle; de même Ampère et Faraday, en étudiant les actions des courants sur les courants

et les phénomènes d'induction, préparaient à leur insu la voie à la construction des puissantes machines électromagnétiques dont l'emploi a bouleversé tant d'industries.

Quelle que puisse être dans chaque cas l'origine des progrès matériels réalisés par la science, celle-ci apparaît de plus en plus comme une puissance formidable, qui ne recule jamais et dont les conquêtes sont définitives. Il semble que tout lui soit possible, et on doit reconnaître que les progrès accomplis depuis un siècle autorisent des espérances pour ainsi dire illimitées. Toutefois, ce brillant tableau ne va pas sans quelques ombres, et quelques-uns peuvent faire le procès de certaines utilités créées par la science, en lui reprochant d'augmenter nos désirs au détriment de notre bonheur et de notre tranquillité. Sur un terrain aussi subjectif, toute discussion est impossible. Quelque part de vérité que renferment ces vues pessimistes, personne ne nie le soulagement que, de bien des côtés, les progrès des sciences ont apporté à l'humaine misère, et qu'ils apporteront dans l'avenir en apprenant à mieux utiliser les forces naturelles et à en découvrir de nouvelles. On peut espérer qu'ils contribueront pour une large part à la solution des problèmes sociaux qui sont une des grandes préoccupations de notre temps. De ce point de vue optimiste, la science apparaît bonne en même temps qu'utile : c'est une pensée fortifiante pour ceux qui lui consacrent leur vie.

Nous venons d'envisager la science en quelque sorte du dehors, en considérant ses applications; c'est là, ai-je dit, le point de vue du plus grand nombre, et, à la découverte d'un phéno-

mène ou d'un corps nouveau, il nous est arrivé à tous d'entendre demander à quoi cela pouvait servir. Toutefois, il faut reconnaître que la diffusion des méthodes scientifiques modifie peu à peu la mentalité de ceux qui se piquent le moins de curiosité philosophique. Sous une forme plus ou moins nette, l'idée de loi scientifique s'implante dans les esprits de ceux qui n'y voient d'abord qu'une possibilité d'accroître notre puissance sur les choses, et, comme on l'a dit, de commander à la nature en obéissant à ses lois. D'ailleurs, le nombre augmente de ceux pour lesquels tout point de vue utilitaire est dépassé, et que quelque partie au moins de la science intéresse par elle-même. L'astronomie est à cet égard une des sciences les plus captivantes. Il y a un grand attrait à contempler quelques instants l'Univers du point de vue de Sirius, ou à se transporter plus loin encore dans les mondes stellaires en formation que paraissent être les nébuleuses irrésolubles, et on est presque assuré de retenir l'attention en parlant devant un ciel étoilé des distances immenses qui nous séparent des étoiles les plus rapprochées.

III

Il est temps de rechercher maintenant ce que pensent de la science ceux qui la cultivent et ont réfléchi à ses principes. La philosophie positive d'Auguste Comte a exercé une grande influence dans la seconde moitié du siècle dernier; nous en envisageons seulement le côté strictement scientifique sans en discuter l'originalité.

Les vérités scientifiques sont des vérités de l'or-

dre expérimental ; nous constatons des faits par l'observation et l'expérience et, en rattachant de proche en proche les faits les uns aux autres par des relations immédiates, nous arrivons à des notions d'un ordre plus général qui fournissent l'explication commune d'un nombre immense de faits particuliers. A travers les circonstances indéfiniment variables de ceux-ci, nous apercevons ainsi des rapports constants, ce qui nous conduit à des lois. Telles sont, pour prendre un exemple, les lois sur la pression des gaz et sur les tensions des vapeurs, qui rendent compte d'un grand nombre d'expériences particulières. Aucune difficulté ne se présente d'ailleurs pour Comte, quant à la notion même du réel; comme il le dit, le mot positif désigne le réel par opposition au chimérique. La doctrine Comtienne, qui ne s'embarrasse d'aucune analyse délicate, paraît assurément simple, mais est singulièrement superficielle. Comte, qui se préoccupait surtout de sociologie, n'était pas un savant; il parle, pour ainsi dire, d'une science achevée, comme en témoignent, au reste, ses prévisions malheureuses sur les bornes imposées à diverses recherches scientifiques, et sa vision statique d'une science qu'il souhaite voir promptement définitive, est pour nous inadmissible. Taine dit quelque part de Stuart-Mill, qu'il s'est coupé les ailes pour fortifier les jambes; beaucoup de savants préfèrent garder quelques ailes, et pensent que le chimérique joue son rôle dans l'édification de la science. Le positivisme trop simpliste de Comte a besoin d'être élargi par une analyse plus complète. Malgré son étroitesse, il a représenté assez exactement pendant la seconde

moitié du siècle dernier, l'opinion de la majorité des savants, particulièrement de ceux qui, surtout expérimentateurs, se méfiaient des théories. Une lettre célèbre de Berthelot à Renan, résume bien la doctrine mais avec plus de largeur, car Berthelot juge nécessaire d'adjoindre à la science positive une science idéale dont les frontières avec la première sont d'ailleurs assez vaguement tracées, et il n'en pouvait être autrement, la science positive présentant, comme nous allons le voir, dans sa genèse un certain degré d'arbitraire.

Il est impossible d'approfondir davantage les questions qui se posent relativement à l'objet de la science, sans faire une analyse sommaire de l'acquisition de nos connaissances. Les seules choses dont nous ayons une connaissance certaine sont les phénomènes de conscience, variables d'ailleurs d'un moment à l'autre. Ils peuvent se partager en deux groupes que nous rapportons au monde extérieur et au monde intérieur. Le monde extérieur est ce qui parvient à notre conscience à travers les sens, et que notre volonté seule ne suffit pas à faire naître. Les faits de conscience se produisant sans l'intermédiaire immédiat des organes des sens sont rapportés au monde intérieur, tels la pensée et le souvenir. Nous avons ainsi la notion vague d'un réel intérieur et d'un réel extérieur. Nous nous bornerons ici à cette dernière notion; mais il importe de la préciser, car il faut tenir compte des illusions des sens. La notion du réel est pour l'homme une notion lentement acquise par une suite innombrable d'expériences, où la volonté a joué un rôle et auxquelles ont pu concourir divers organes. C'est

par ces expériences répétées que sont peu à peu éliminées les illusions des sens. De plus, dans ces expériences, la constatation de certains rapports invariables entre une première sensation, et celles que nous pouvons faire naître à sa suite, achève de nous donner la notion du réel. On ne peut d'ailleurs se borner au réel individuel. Le réel a aussi une signification sociale, comme on dit aujourd'hui, en ce qu'il exige un consensus universel dans une humanité moyenne ; il peut être différent pour les fous et les hommes d'esprit sain.

Cette analyse suffit à montrer que notre notion du réel est susceptible de corrections et d'accroissements progressifs. Elle dépend à la fois d'expériences d'une précision croissante et des constatations successives de certaines invariances ; c'est un point qu'il ne faudra pas oublier. Malgré cette mobilité, la suite d'observations ou d'expériences ayant entre elles un lien, par exemple, la succession des jours et des nuits, nous familiarise de bonne heure avec l'attente de sensations consécutives bien définies, et de l'attente à la prédiction il n'y a pas loin. La connaissance du réel apparaît donc avec une incontestable valeur d'utilité, et ainsi que nous l'avons déjà indiqué, l'utile et le vrai sont dans cette question extrêmement voisins. Comme l'a remarqué Helmholtz : « nous disons que nos représentations du monde extérieur sont *vraies* quand elles nous donnent une indication suffisante des conséquences de nos actes par rapport à ce monde extérieur, et qu'elles nous permettent de tirer des conclusions exactes sur les modifications que nous pouvons en attendre ».

Les observations et les expériences dont il a été question jusqu'ici sont les expériences et observations vulgaires. Si on en reste là, on se trouve seulement en présence d'un simple monceau de faits présentant quelques connexions, et cette connaissance brute du réel n'est pas suffisante pour fonder la science. Mais, dans nos expériences sur une certaine portion du réel extérieur, nous parvenons à distinguer certaines propriétés qui sont indépendantes de nous, et d'autres qui en dépendent. Ce sont les éléments objectifs et les éléments subjectifs. Parmi les éléments objectifs, il en est de constants qui nous donnent l'idée de la *chose* elle-même ; d'autres peuvent être variables comme la position ou le mouvement de cette chose. Quant aux éléments subjectifs, des exemples en sont fournis par la distance où nous nous trouvons d'une chose déterminée et l'angle sous lequel nous la voyons. Les distinctions, dans lesquelles nous abstrayons certains éléments pour n'en retenir que quelques-uns, forment une des opérations les plus essentielles que nous puissions faire sur nos expériences, et ces abstractions nous conduisent aux concepts. Ainsi nous formons le concept d'homme ou de matière. Ce qui précède montre assez qu'il ne faut pas attribuer à nos concepts un caractère de fixité absolue. Ils sont susceptibles d'être modifiés soit par suite de la constatation de faits nouveaux, soit par un départ plus exact entre les éléments objectifs et les éléments subjectifs. Ajoutons que la formation des concepts présente quelque degré d'arbitraire, conséquence d'une certaine indétermination dans le choix des éléments conservés. Nous arrivons maintenant à un point très im-

portant : les concepts jouent un rôle essentiel dans la genèse de la science et la connaissance scientifique tend à s'effectuer au moyen de concepts. Ce que nous avons dit de l'arbitraire se présentant dans la formation de ceux-ci, montre nettement le rôle que joue, dans l'édification de la science, l'esprit travaillant sur les données de l'expérience.

IV

Ces représentations mentales des faits servent de base à nos raisonnements, et nous utilisons nos concepts dans des déductions qui conduisent à des prévisions ; c'est en cela que réside essentiellement leur utilité. Nous ne voulons pas nous immiscer ici dans la lutte entre le psychologisme et la logique. On peut traiter de la genèse de la science, en regardant les rapports logiques comme des données. A ce point de vue, la logique est un instrument impuissant à créer, mais admirable pour la transformation et apte à mettre en évidence des conséquences inattendues qui pourront conduire parfois indirectement à la formation de concepts plus étendus et à des hypothèses plus générales. C'est d'ailleurs un outil délicat, opérant sur une réalité déjà déformée et simplifiée, et il reste toujours nécessaire de comparer les conséquences de nos déductions avec les résultats de l'observation et de l'expérience.

Nous avons plusieurs fois parlé de rapports invariables et de successions dans un ordre déterminé ; on affirme, par exemple, qu'un certain élément se trouve toujours dans une chose, si un autre élément s'y rencontre, qu'il s'agisse de rela-

tions dans le temps ou dans l'espace. Des flots d'encre ont coulé sur le principe de causalité, mais quelle que soit la doctrine, associationniste évolutive, intuitive, tous les efforts pour prouver la validité du principe devaient échouer. Nous nous bornerons à dire que l'expérience nous a rendu familières certaines liaisons, et qu'elle nous a conduits à la croyance qu'il y a des lois dans la nature. « Avant de faire la science, disait Claude Bernard, il faut croire à la science. » Ajoutons qu'on a commencé à croire à la science quand on s'est rendu compte de son utilité ; de plus, nous sommes encore poussés à cette croyance par un sentiment esthétique, celui de l'ordre et de l'harmonie qui se trouve nécessairement dans la notion de loi. Nous retrouvons là des idées qui se sont déjà présentées à nous sur le concours du vrai, de l'utile et du beau.

Un système de concepts associé à des lois ou faits particuliers, et transformé par des déductions convenables de façon à faire rentrer, moyennant certaines hypothèses, ces faits ou lois dans des cadres plus généraux, constitue une théorie scientifique. Nous avons dit la part d'arbitraire que présente la formation des concepts ; elle est plus grande encore *a fortiori* dans la formation des théories. Cet arbitraire réside principalement dans les hypothèses conduisant aux généralisations qui sont le point essentiel de la théorie. Dans les diverses sciences, le développement des théories prend des formes très différentes, et même leur rôle n'est pas entendu de la même façon par tous les savants ; nous en dirons un mot plus loin.

D'une manière générale, on exige d'une théorie

qu'elle soit simple. Il y a là une notion aussi féconde que vague ; ce principe de simplicité, malgré son caractère hypothétique, tend à produire en nous un sentiment de certitude. Devant une loi simple, nous croyons moins à la possibilité d'une erreur ; on peut présumer que la loi de la gravitation universelle n'aurait pas eu grand avenir, si au lieu de l'exposant *deux*, il eût fallu, comme on l'a proposé pour expliquer certaines particularités du mouvement de la planète Mercure ne cadrant pas avec les observations, lui substituer le nombre *deux* augmenté de seize unités du huitième ordre. Sans doute, comme le disait un jour Fresnel à Laplace, la nature se joue de nos difficultés analytiques, et les physiciens connaissent les relations compliquées que l'on doit substituer à la loi simple de Mariotte; mais beaucoup ne sont satisfaits que quand ils peuvent rattacher des relations complexes à quelque idée théorique simplement formulée. Quand il en est autrement, les lois sont traitées d'empiriques, ce qui ne va pas sans un peu de mépris, et ce qui peut paraître d'abord singulier, car toutes les lois proviennent directement ou indirectement de l'expérience. Ces remarques ont un caractère général, et nous pouvons dire que à chaque instant nous nous laissons guider par ce principe de simplicité; on a ainsi une première approximation dans la genèse de la science.

Toute théorie mettant en présence un certain nombre de concepts, d'hypothèses, de faits expérimentaux et de raisonnements forme un amalgame dont les parties peuvent se laisser difficilement disjoindre. Aussi, en général, aucune expérience ne permet-elle d'établir la vérité d'un élé-

ment de cet ensemble présentant un caractère hypothétique. Il arrive donc que plusieurs théories puissent se développer simultanément et rendre compte d'un même groupe de phénomènes. On pourrait toujours faire concorder une théorie avec l'expérience, en modifiant certains concepts ou en introduisant quelques hypothèses supplémentaires. Mais ici encore intervient l'idée de simplicité, en nous faisant rejeter une théorie trop compliquée; c'est sans doute, parce que, une telle théorie étant trop difficile à manier, nous la jugeons peu utile; peut-être aussi parce qu'elle ne nous paraît pas belle dans sa complexité.

Quand nous observons un phénomène, il nous arrive de dire que nous comprenons ou que nous ne comprenons pas. Que signifie cette assertion? Nous comprenons un phénomène quand, avec nos connaissances acquises, nous aurions pu le prévoir. Notre explication consiste à développer cette possibilité de prévision. On peut d'ailleurs être plus ou moins exigeant quant à la nature des lois ou théories à invoquer dans une explication : ces exigences varient d'une science à l'autre, et elles ne sont pas les mêmes pour un physicien et pour un biologiste. Nous remontons aussi plus ou moins haut dans nos explications. Ainsi la mécanique céleste prend pour point de départ l'attraction newtonienne, mais on peut vouloir expliquer cette attraction même, avec peu de succès d'ailleurs, soit en considérant les impulsions communiquées aux corps par les particules d'un milieu très subtil, soit dans certaines théories électriques en se basant sur des différences entre les électricités de signes contraires. Quoiqu'il en soit, l'intelligible tout court

n'a plus aujourd'hui pour nous grande signification ; il y a toujours une première donnée dont il faut partir dans nos explications.

Les généralités précédentes ont mis en évidence la part de notre esprit dans la genèse de la science et il est exact que nous créons notre science, ne spéculant sur les réalités extérieures qu'à travers nos concepts et théories. Mais ceux-ci ne forment pas une armature rigide, comme les formes et les catégories de certain idéalisme. Une partie importante du progrès des sciences consiste dans une connaissance plus complète des éléments objectifs, ce qu'on exprime en disant que la science tend à devenir de plus en plus objective, et cette connaissance influe nécessairement sur la formation des concepts et de leurs groupements. Il n'en faut pas moins reconnaître que l'objectivité complète de la science est une chimère ; créée par nous et avec nos organes, notre science est à notre mesure, et sera toujours en quelque manière dépendante de nos rapports avec le monde extérieur. Aussi y a-t-il une forte part d'illusion chez ceux qui regardent la science comme devant faire connaître les énigmes de l'univers. Le nombre paraît en diminuer chez les savants ; peut-être augmente-t-il chez ceux pour qui la science est surtout un sujet de dissertations, et qui cherchent surtout à opposer une idole à d'autres idoles.

V

En faisant un examen sommaire de quelques sciences particulières, nous trouverons l'application des remarques générales qui précèdent, et

nous pourrons les compléter sur plusieurs points. Nous avons vu qu'en Grèce la science rationnelle apparaît avec la géométrie, et, depuis la Renaissance jusqu'à nos jours, les sciences de la nature ont tendu à prendre une forme mathématique. C'est qu'en effet les concepts de l'arithmétique et de la géométrie, si complexes qu'ils puissent paraître à la critique moderne, sont cependant par comparaison avec d'autres d'une extrême simplicité ; ils nous donnent le sentiment d'une clarté et d'une intelligibilité supérieures.

La géométrie nous apparaît à ses débuts comme une science physique, les sensations variées provoquées en nous par le monde extérieur ayant conduit à la notion d'un espace sensible, et celui-ci nous a amenés à élaborer les concepts géométriques; tels sont les concepts de points, de droites, de plans, d'angles et d'autres encore. Au sujet de ces concepts ont été formulés des axiomes ou postulats ; la géométrie est dans ces conditions une théorie relative aux faits géométriques, dans le sens même où nous l'entendions plus haut d'une manière générale. Un certain degré d'arbitraire doit dès lors subsister dans la structure de la géométrie, et on peut en donner comme exemple la formation du concept de mesure. On a donc pu former diverses géométries, et tout le monde a entendu parler de la géométrie ordinaire ou euclidienne et des géométries non euclidiennes qui n'admettent pas, comme la première, le postulatum d'Euclide relatif aux parallèles. En réalité, le nombre des géométries logiquement possibles est infini. Il a été proposé d'appeler géométrie pure la science de toutes les espèces possibles d'espaces, cette

géométrie pure n'étant qu'un système logique, tandis que notre géométrie usuelle serait la géométrie réelle ou appliquée. Ces dénominations et particulièrement la qualification de réelle pourraient soulever bien des controverses, quoiqu'elles expriment au fond une idée juste. Ainsi on s'est demandé si la géométrie euclidienne était vraie par rapport aux géométries non euclidiennes ; pour quelques-uns la question n'a pas de sens, et il faut dire seulement que la géométrie euclidienne est la plus commode. Pour ma part, je comprends mal le mot *commode* ; si on se reporte à ce que nous disions plus haut avec Helmholtz de la vérité, on doit regarder que le plus commode est en même temps le vrai. La théorie euclidienne, rendant compte dans leur ensemble avec le plus de commodité des faits observés, nous apparaît comme la plus vraie. La géométrie usuelle est la plus simple des théories physiques, et nous avons vu plus haut qu'elle eut d'abord un caractère expérimental.

L'histoire de la mécanique nous offre un autre exemple digne d'attirer l'attention. La mécanique emprunte à la géométrie l'idée d'espace, de cet espace abstrait sur lequel raisonnent les géomètres. Il répugne à beaucoup de l'appeler l'espace absolu. Je ne puis partager cette répugnance, et je crois que le mot n'a rien de dangereux. Il n'y a pas lieu, me semble-t-il, de repousser cette notion qui a rendu à la science de grands services, et sans laquelle la mécanique ne se serait pas fondée ou aurait pris un autre tour. L'ignorance ou l'oubli momentané de certains mouvements, comme les mouvements propres des étoiles et la rotation de la terre, a été féconde

dans la genèse de la science moderne; c'est ainsi qu'on a été conduit à formuler, après une longue élaboration, des principes dont on ne vit pas heureusement d'abord toutes les difficultés d'applications. Le savant admet l'existence du monde extérieur; il peut bien accepter l'idée d'un espace absolu, lieu des phénomènes de ce monde extérieur, et d'ailleurs, même quand il ne l'accepte pas, il en parle malgré lui.

La notion de temps est essentielle aussi pour la mécanique ; elle exprime l'idée de l'enchaînement des choses, et le temps abstrait se présente comme une variable indépendante à laquelle nous rapportons les phénomènes. Il faut chercher sans doute dans des faits physiologiques rapprochés d'expériences et d'observations convenables, l'origine de sensations de durées égales, et par suite les raisons pour lesquelles nous avons pu, par approximations successives, arriver à une graduation du temps. La durée de la rotation de la terre autour de son axe, répondant suffisamment aux sensations ainsi acquises de mouvement uniforme, a été prise pour unité de temps et le choix de cette unité a été capital dans le développement de la mécanique.

Dans la genèse de la mécanique, comme de toute science, des circonstances accidentelles ont joué un rôle ; il faut noter à cet égard le caractère des expériences fondamentales de Galilée et de Newton sur la chute des corps et sur le pendule. Quoique l'on connût le mouvement de la terre, on faisait abstraction de ce mouvement dans l'interprétation de ces expériences. Il y a là une de ces approximations fréquentes dans l'histoire des sciences, où fort heureusement la peti-

tesse des perturbations laisse un caractère simple à un phénomène complexe, ce dont on ne se rend compte d'ailleurs qu'après coup. Le développement de la mécanique aurait été tout autre si la terre avait tourné beaucoup plus rapidement autour de son axe, les expériences sur le plan incliné se présentant avec une complication qui eût permis difficilement de formuler des principes simples.

Le développement des sciences paraît présenter aussi des cercles vicieux. Ceux-ci, tels seulement pour un esprit d'une logique trop rigide, ne sont que la conséquence du progrès dans les approximations successives qui forment la science utilisant d'abord la connaissance vulgaire pour s'élever à la connaissance scientifique, puis passant d'un premier concept à un concept plus étendu parfois en contradiction partielle avec le premier. Citons au moins un exemple de ces circonstances. Ainsi Newton ayant, par une extension hardie, tiré des lois de Kepler les lois de la gravitation universelle, une conséquence de ces dernières lois fut de montrer que la troisième loi de Kepler ne pouvait être exacte. C'est que le soleil avait été supposé d'abord immobile et que, étudiant ensuite la question d'une manière plus générale, on considéra le soleil comme lui-même en mouvement par rapport aux étoiles fixes (qui elles-mêmes d'ailleurs sont mobiles). Mais, heureusement pour nous, les masses de toutes les planètes sont très petites par rapport à la masse du soleil, et les lois de Kepler sont très approchées ; c'est grâce à cette circonstance favorable de très petits rapports de masses qu'il a été possible d'arriver aux lois de la gravitation universelle.

VI

La mécanique classique a conduit à des types de relations différentielles, en postulant, plus ou moins explicitement, un principe de non-hérédité d'après lequel les changements infiniment petits, qui surviennent dans un système, dépendent uniquement de l'état actuel de celui-ci, et en supposant en outre que ces systèmes sont conservatifs, les lois physiques faisant connaître, bien entendu, pour chaque catégorie de phénomènes certaines fonctions qui se présentent dans ces relations. Ainsi s'est constituée une sorte de moule où on a cherché à enfermer la représentation analytique des phénomènes dans les diverses parties de la physique. Il a fallu ensuite élargir certains des concepts introduits, donner en particulier au concept de force une plus grande généralité. Ces retouches successives ne seront sans doute jamais terminées. Le nombre des éléments à introduire augmente sans cesse à mesure que l'on veut serrer de plus près le réel; le microscope ne nous suffit plus, il nous faut l'ultramicroscope. On a dû aussi faire intervenir des milieux ou sortes de substances, comme l'éther ou les électricités, afin de constituer les théories optiques ou électriques. Nos théories sont donc susceptibles de s'élargir, en envisageant des éléments cachés, comme on l'a dit, à côté des éléments visibles, ces éléments cachés ne nous étant connus qu'indirectement, et étant soustraits, au moins d'une manière directe, à notre action.

Les chimistes spéculent depuis longtemps sur

de tels éléments, comme sont les molécules et les atomes, dont la considération est pour eux si féconde.

L'introduction des éléments cachés offre évidemment un large degré d'arbitraire, mais n'en est-il pas de même dans la formation de tout concept? Elle reste une porte ouverte pour les mécanistes qui veulent garder les moules de la mécanique classique, et cela n'est pas sans importance. Si nous avons un système pratiquement isolé à éléments tous visibles, la forme des équations nous apprend que le système sera réversible, c'est-à-dire que nous pourrons renverser le mouvement en changeant seulement les sens des vitesses ; nous pourrons faire remonter au système le cours du temps. En réalité, il n'en est rien, et dans aucun phénomène nous ne disposons à un moment donné des valeurs de tous les éléments qui entrent en jeu et de leurs dérivées premières, ce qui peut constituer une explication, sinon de l'irréversibilité, au moins de sa possibilité. Héraclite avait raison de dire qu'aucun homme ne se baigne jamais deux fois dans le même fleuve : le monde ne peut faire machine en arrrière.

Ces remarques montrent les difficultés et l'arbitraire que peuvent présenter les explications mécaniques ; mais, malgré ces difficultés, le désir impérieux de chercher de telles explications a été, pour le développement de toutes les sciences, un stimulant d'une grande fécondité. Les images, ou quelquefois les modèles, qui prennent ainsi naissance sont, pour beaucoup d'esprits, un aide puissant dans la recherche, en même temps qu'elles rendent souvent

accessibles certains résultats à ceux qui veulent les utiliser pratiquement. Quoique je n'aie pas ici à entrer dans le détail, je dois dire cependant quelques mots de l'énergétique qui s'est développée, quelquefois en opposition avec le mécanisme, et dont quelques représentants au moins envisagent tout autrement l'objet d'une théorie physique. Ils rompent avec l'ordre historique, et il n'est plus question avec eux de cette longue série d'approximations et de retouches successives. Ils posent tout d'abord quelques principes comme celui de la conservation de l'énergie et le principe de Carnot sous leurs formes les plus générales, et ne voient dans les phénomènes que des transformations d'énergie. L'importance du point de vue énergétique est immense, et personne ne songe à la nier, mais on peut penser qu'il y a là un esprit exclusif peu favorable à l'invention scientifique. Et tout d'abord, l'énergétique est bien ingrate envers le mécanisme d'où est sorti, dans un cas spécial, le principe de la conservation de l'énergie. Ensuite, l'idée de la science que se forment les énergétistes est bien peu vivante, et a un caractère surtout didactique. En supposant qu'il ne soit pas absurde de parler du moment où la science sera finie, on pourrait dire que la meilleure manière de l'exposer sera la forme préconisée par l'énergétique ; on pourra alors commencer par poser des principes pour jamais acquis, et la recherche n'aura plus besoin d'être stimulée. L'énergétique pure, quand elle se borne systématiquement au concept d'énergie, est, si j'ose le dire, une science austère, drapée dans ses symboles, ne se permettant aucune image ni aucun modèle, et d'où quelques-uns

excluent même le concept de matière. Il arrive en fait que l'énergétique et le mécanisme se mêlent le plus souvent. Cela est fort heureux ; ce n'est qu'en adoptant des points de vue divers, quelquefois opposés, que les sciences progressent, et il ne faut pas mutiler l'esprit humain.

Nous avons eu en vue dans ce qui précède les sciences physico-chimiques, qui tendent de plus en plus à prendre une forme mathématique. Les sciences biologiques se présentent en général avec un autre caractère. En raison de leurs extrêmes complications, elles sont à un stade moins avancé avec des concepts moins élaborés, restant dans leur ensemble plus voisines de l'observation pure et simple, malgré les admirables résultats obtenus par l'expérimentation dans quelques-unes de leurs parties, et la déduction y joue un rôle moins important. Leurs méthodes demandent des habitudes d'esprit quelque peu différentes de celles habituelles aux savants qui sont adonnés aux sciences entrées dans une période plus mathématique et où le stade qualitatif, si je puis dire, est depuis longtemps dépassé. Tandis que le nombre des éléments à introduire dans l'étude d'un phénomène physique est pratiquement assez petit, il serait nécessaire d'introduire un nombre immense de variables, si on voulait en biologie construire des théories du même type que les théories mécanistes de la physique, d'où une extrême complexité dans la formation des concepts. Cela semble pour longtemps, sinon pour toujours, impossible, et on peut se demander si les sciences biologiques seront susceptibles de revêtir, comme les sciences physico-chimiques,

une forme mathématique ; nous en sommes en tous cas très loin.

Un point essentiel aussi à noter est que l'on ne peut admettre le postulat de non-hérédité que nous avons trouvé à la base de la mécanique classique. S'il n'est pas complètement exact pour les phénomènes physico-chimiques, il donne le plus souvent, dans les sciences de la nature inanimée, une première approximation précieuse, dont on peut se contenter. Il en est tout autrement dans les sciences de la vie. Aussi le mécanisme proprement dit s'y présente-t-il avec d'énormes difficultés, et les considérations globales de l'énergétique rendent-elles, notamment en physiologie, de très grands services. Il faut élargir aussi le sens du mot explication, la prévision étant rarement possible sous forme quantitative; parfois même il faut regarder une narration historique comme une explication, se bornant à raconter une évolution dont le sens seulement apparaît, sans qu'on en puisse préciser les causes. Cela ne veut pas dire que les phénomènes vitaux ne se ramènent pas aux phénomènes physico-chimiques, à condition qu'il soit question d'une physico-chimie considérablement élargie. La biologie contemporaine pose le postulat de cette réduction, seul fécond pour son développement, et les résultats obtenus dans cette voie en chimie biologique, particulièrement dans l'étude des diastases et des colloïdes, sont déjà considérables.

En résumé, quoi qu'il en soit des diverses tendances qui se présentent dans les différentes parties de la Science, celle-ci se présente à nous comme une vue du monde extérieur à travers des

concepts tirés par abstraction de l'expérience et rapprochés les uns des autres de façon à obtenir des lois qui rendent possibles la coordination et la prévision. Le réel, tel qu'il a été envisagé dans les pages précédentes, paraîtra peut-être bien pâle, à côté de la réalité que saisit l'intuition vulgaire. Pour pouvoir avec cette réalité confuse faire œuvre scientifique, il a fallu la simplifier, ce qui n'a pas été sans la décolorer, et ramener à des lignes moins lâches les contours flottants des choses. Si le spectacle est plus restreint, il gagne en précision, et nous marchons sur un terrain plus solide. Les savants, en majorité au moins, ne pensent guère dans ces conditions trouver le mot des choses, comme l'espérait naïvement Renan dans l'*Avenir de la Science ;* ils ne sont même plus très sûrs de comprendre le sens de telles expressions. Se rendant compte de la relativité de nos connaissances qui ne nous font connaître que des rapports, les générations de savants avancent, au milieu de complexités toujours croissantes, dans leurs approximations successives ; ils ont confiance dans le postulat de leur convergence, et espèrent trouver, au bout de ce labeur jamais terminé, une unité, déjà rêvée par les sages d'Ionie, dont la découverte sera peut-être quelque jour l'honneur de l'esprit humain.

Emile Picard,
De l'Académie des Sciences,
Professeur à la Sorbonne.

MATHÉMATIQUES PURES

Pour peu qu'on ait étudié les mathématiques, on n'ignore pas que la méthode par laquelle on les expose est la méthode déductive. Sauf dans les premières pages des traités élémentaires, chaque proposition est *déduite* de propositions antérieurement démontrées ; on ne fait pas appel à l'évidence directe de la proposition à démontrer, ou d'une affirmation particulière qui serve à la démonstration, on montre que cette proposition ou cette affirmation sont contenues logiquement dans une proposition antérieurement démontrée ou admise. Mais on ne peut remonter à l'infini la chaîne des déductions ; il faut qu'elle soit accrochée quelque part : il faut partir de quelques notions premières et de quelques propositions qui les concernent, que l'on doit admettre sans les démontrer et d'où sortira logiquement tout le développement de la science. L'étude des notions premières, comme le nombre entier, le point, la ligne droite, le plan, et des axiomes qui s'y rapportent, intéresse à la fois le mathématicien et le philosophe ; elle a été commencée par les anciens et poussée très loin dans les temps modernes.

Malgré l'importance de cette étude et des

résultats, définitivement acquis, auxquels elle a conduit, on me pardonnera si je ne fais qu'effleurer un sujet où je ne suis guère compétent et où le sens et la portée des spéculations qu'il comporte n'apparaissent bien qu'à ceux qui ont une forte culture mathématique : d'ailleurs, c'est sur le développement des mathématiques que je voudrais insister, plutôt que sur leurs fondements.

*
* *

Que des idées comme celles de la droite ou du plan nous aient été suggérées par l'expérience, cela n'est pas contestable ; mais qu'est-ce qui ne nous a pas été suggéré par l'expérience ? Quoi qu'il en soit, il faut bien reconnaître que nous n'avons jamais touché, ni vu, une ligne droite, ou un plan : l'existence d'une ligne droite matérielle, ou d'un plan matériel, est impossible, contradictoire avec ce que nous savons de la matière. Il est probable que le mode de propagation de la lumière et les expériences qui nous ont fait reconnaître le plus court chemin, la ligne de moindre effort, pour aller d'un point à un autre, sont pour beaucoup dans la formation de notre idée de la ligne droite : l'animal qui fond sur sa proie a quelque connaissance qui ressemble plus ou moins à notre notion de la ligne droite ; mais pour arriver à cette notion, dont on s'accorde généralement à reconnaître qu'elle est indéfinissable, il faut à notre pensée cette merveilleuse puissance d'abstraire, de simplifier, de passer à la limite, qui se manifeste dans toute notre science et nous permet de dessiner une image du monde extérieur qui plaise à notre raison.

En dehors de notre pensée il n'y a assurément ni point, ni ligne droite, ni plan ; c'est elle qui crée ces éléments ; nous leur attribuons cependant une sorte de réalité, qui est comme un résidu et une limite de ce que nous pouvons expérimenter et imaginer ; nous disons avoir l'intuition du point, de la ligne droite, du plan, du corps solide,... Notre intuition enveloppe certaines propriétés, certains *axiomes*, concernant ces éléments et leurs relations, axiomes que l'on s'est efforcé de distinguer et d'énoncer clairement et dont nous affirmons l'évidence, au moins tout d'abord.

C'est l'objet propre de ceux qui étudient les fondements de l'une des sciences mathématiques, de la géométrie par exemple, que de fixer la table des idées premières et des axiomes qui s'y rapportent. Ces axiomes doivent constituer un système complet, c'est-à-dire qu'ils doivent suffire à l'entière déduction de la science ; ils doivent être cohérents, c'est-à-dire qu'aucun axiome du système ne doit être contredit par quelque déduction logique des autres axiomes. Un système d'axiomes est imparfait tant que ces axiomes ne sont pas indépendants ; ils sont indépendants si le système reste cohérent quand on remplace n'importe quel axiome par un axiome qui soit en contradiction avec celui qu'il remplace. Il est clair que cette indépendance des axiomes n'est pas, comme la cohérence, indispensable au développement de la science, non plus que la parfaite simplicité des axiomes et leur réduction au moindre nombre possible [1].

1. Voir, sur ce sujet, le livre de M. Whitehead intitulé : *The axioms of projective Geometry*.

Le long travail qui consiste à distinguer les axiomes d'une façon précise, à leur donner la forme d'un système, a commencé il y a bien des siècles ; il a fait un progrès décisif, mais non définitif, par les spéculations sur les géométries non-euclidiennes, où l'on nie l'axiome classique des parallèles ; il a abouti à une suite de géométries, classées d'après le système d'axiomes qui caractérise chacune d'elles. Il n'a réussi qu'après un très grand développement des mathématiques et n'a pu réussir que grâce aux ressources qu'a fournies ce développement.

Une des difficultés que présente ce travail est dans les habitudes de notre esprit, dans notre intuition même de l'espace, dans les images que nous y situons, dans cette réalité que nous leur attribuons. Comment nous abstraire de cette intuition et nous assurer que les déductions logiques de nos raisonnements sont toutes pures, qu'il ne s'y introduit aucune évidence étrangère à celle qui nous fait apercevoir une proposition comme incluse dans une autre ? L'un des procédés qui peuvent y aider consiste à représenter les éléments dont on parle par des symboles abstraits, qui n'éveillent plus aucune image, et à les combiner par des règles précises, qui ne sont que l'application des lois de la logique déductive.

Dans ces conditions, on observera que la signification des éléments (idées premières) sur lesquels on spécule n'importe pas : peu importe ce qu'est un point, une ligne droite, un plan,... ; ce qui importe, c'est les règles pour combiner ces éléments. Les conséquences auxquelles on parvient s'interprètent en donnant aux éléments une

signification particulière, elles s'interpréteront d'une façon tout aussi légitime en donnant aux éléments une autre signification, pourvu que les règles d'après lesquelles on les combine soient les mêmes. On observera encore que les axiomes attachés aux éléments n'ont pas besoin d'être évidents : cette évidence, on l'exigeait d'eux quand on attribuait à l'espace, au point, à la ligne droite,..., un reste d'existence ; maintenant, on ne sait plus ce que signifierait cette évidence, dont on remarquera qu'il n'a pas été question quand on a énuméré les conditions imposées à un système d'axiomes.

Il peut être commode, pour ne point choquer nos habitudes et peut-être aussi pour garder un point d'appui dans cette intuition qu'on prétend bannir, de parler du point, de la ligne droite,..., comme s'ils existaient ; mais le mot exister n'a plus le sens ordinaire : il ne s'agit plus que de pensées, non d'objets extérieurs à nous ; tout ce qu'on demande à une pensée, pour qu'elle ait droit à l'existence, c'est de ne contenir aucune contradiction interne. Le point, la ligne droite,..., existent, en tant que pensées, si les axiomes que nous affirmons de ces éléments sont vraiment cohérents. Mais comment être sûr qu'il en est ainsi et qu'il ne se rencontrera jamais aucune contradiction dans l'infinité des déductions qu'on peut tirer de ces axiomes, lorsque cette infinité de déductions ne sera jamais épuisée ? Toute cette science géométrique donne peut-être au lecteur l'impression d'un jeu ; ce jeu est-il légitime ?

Heureusement pour ceux qui aiment à s'y livrer, on est parvenu à limiter si bien l'angois-

sante question qu'il est possible de lui donner une réponse, satisfaisante pour ceux qui gardent dans leur raison un minimum de confiance. On a, en effet, établi que les diverses géométries pouvaient être regardées comme des chapitres de l'analyse, c'est-à-dire de la partie des mathématiques où l'on ne traite que des nombres : le point, la ligne droite, le plan, le corps solide, la distance,... peuvent être définis à l'aide du nombre seul ; ou plutôt, on peut, à ces éléments dont les noms semblent impliquer toujours quelque réalité extérieure, substituer des éléments dont la signification est purement numérique, et aussi donner une signification purement numérique aux propositions qui s'énoncent dans le langage de la géométrie.

Dès lors, s'il n'y a pas quelque défaut interne dans l'idée de nombre entier, s'il est certain qu'il ne se rencontrera jamais aucune contradiction dans l'infinité des déductions qu'il est possible d'en tirer, on doit être rassuré sur la légitimité des diverses géométries, et en particulier de la bonne vieille géométrie euclidienne, pour laquelle le doute serait très cruel.

Leibnitz voulait que notre monde fût le meilleur des mondes possibles. Libre au lecteur, s'il lui plaît, de regarder aussi la géométrie euclidienne comme la meilleure des géométries possibles ; elle a, en tout cas, un mérite singulier, qui est de s'appliquer à notre expérience, d'où, sans doute, elle est sortie. J'ai dit plus haut qu'il n'y avait dans la réalité extérieure ni point, ni ligne droite, ni plan,..., et, d'autre part, que le développement de la géométrie, ou des géométries, dépendait seulement, au point de vue logi-

que, du cortège d'axiomes dont on entourait les idées de point, de droite,..., et non du contenu de ces idées. Mais « la Géométrie a des applications concrètes : elle ne se réduit pas à un simple jeu d'axiomes. Avec son aide, on mesure les champs, on jauge les volumes, on bâtit les édifices, on construit des machines,... En Physique, on en a besoin à chaque pas, en Astronomie, en Géodésie, encore plus,... La Géométrie ne peut donc demeurer dans son domaine de la logique pure, il lui faut en sortir. Elle doit considérer des plans, des droites, des points concrets, il lui faut des axiomes s'appliquant positivement à de tels objets[1]. » Des points *concrets* ? L'épithète, presque nécessaire pour faire ressortir et rendre intelligible une pensée juste, est cependant excessive. A la réalité concrète, nous substituons un monde limite, un monde abstrait, simplifié, décoloré, mais intelligible, et qui ressemble assez à cette réalité pour nous guider dans son infinie complication. Les objets réels que nous appelons points, droites,... ne sont pas les êtres abstraits que considère la géométrie ; ils s'en approchent assez pour que les erreurs soient négligeables, pour nous. La géométrie que l'on applique ainsi à la réalité concrète est la géométrie euclidienne, dont les axiomes ont un caractère si intuitif qu'on peut bien les regarder comme faisant partie de notre conception du monde extérieur. Quant à la question de savoir si les autres géométries sont

1. J. Richard. Sur les fondements de la géométrie. (*Archives de mathématiques*, n° 1, p. 58.) L'auteur pose très nettement la question ; ses conclusions, qu'il développe d'une façon fort intéressante, sont beaucoup plus réalistes que les miennes.

susceptibles d'applications à la réalité, on me permettra de ne pas l'aborder [1].

Quoi qu'il en soit, au point de vue logique, tout se ramène au nombre et, en dernière analyse, au nombre entier, aux combinaisons des nombres entiers, d'où l'on peut faire sortir l'idée de nombre dans toute sa généralité. J'insisterai quelque peu sur l'extension successive de cette idée, d'autant qu'il s'agit là de notions élémentaires, avec la plupart des quelles le lecteur est certainement familier et que quelques points importants, sur lesquels je voudrais appeler son attention, apparaissent suffisamment lorsqu'on se donne la peine de réfléchir à cette extension.

*
* *

Sur la nature même du nombre entier, sur sa signification en tant que *cardinal* ou *ordinal*, sur le point de vue d'où l'on regarde le nombre entier comme une idée première, indéfinissable, en spécifiant les axiomes qui concernent cette idée, je ne m'arrêterai pas, non plus que sur la question de savoir comment le nombre entier, lorsqu'on se place exclusivement soit à ce dernier point de vue, soit au point de vue ordinal, peut servir à compter les objets d'une collection réelle ; je laisserai aussi de côté les axiomes relatifs à l'addition des nombres entiers, ou je les regarderai, si l'on veut, comme impliqués dans l'idée de nombre entier. Je n'ai nullement la prétention d'étudier les fondements de l'arithmétique.

1. Voir les chapitres sur l'Espace dans *la Science et l'hypothèse*, de M. H. Poincaré.

S'il ne veut point trop philosopher, ces fondements, qui se bornent effectivement à l'idée de nombre entier, à l'usage du nombre entier pour compter ou numéroter les objets d'une collection, et aux axiomes de l'addition, paraîtront au lecteur très solides et très clairs. Je veux toutefois remarquer que l'idée de l'infini est déjà impliquée dans celle du nombre entier : la suite des nombres entiers est illimitée, puisque chaque nombre entier est suivi d'un autre nombre entier différent de lui et de ceux qui le précèdent, ou, si l'on préfère, puisqu'on peut ajouter un à chaque nombre entier. Cette notion de l'infinité des nombres entiers, qui se présente ainsi de la façon la plus simple, vient jeter un léger trouble dans la conception du nombre cardinal, par la difficulté qu'il y a à définir ce qu'est une collection *finie* d'objets ; or c'est d'une telle collection qu'on entend parler quand on parle du nombre des objets qui la composent.

Cette difficulté n'est pas impossible à surmonter, et je me contente de la signaler, d'autant que l'habitude que nous avons de considérer des collections finies paraît donner à ces mots une signification claire.

Ces notions admises, la définition de la soustraction, de la multiplication, de la division ne comporte aucune difficulté. Les propriétés essentielles de ces opérations, par exemple les théorèmes sur les produits de facteurs, ont probablement été observées par les calculateurs avant qu'on en trouvât la raison. Les anciens connaissaient plusieurs propositions, les unes fondamentales, les autres curieuses, relatives à la divisibilité et aux nombres premiers. Il est bien vrai-

semblable qu'ils sont parvenus par l'observation à ces propriétés. Sans doute, le théorème sur l'infinité des nombres premiers s'est présenté à l'esprit de quelque mathématicien après que l'on eut déterminé beaucoup de ces nombres premiers ; mais, si le lecteur veut bien réfléchir à la démonstration classique de cette proposition, qui se trouve déjà dans Euclide, et qui est la seule démonstration élémentaire que l'on connaisse, il ne manquera pas d'être frappé par le degré de culture mathématique et l'ingéniosité que suppose la découverte d'une pareille démonstration.

C'est évidemment la division en parties égales d'objets, ou de groupes d'objets, qui a conduit à la notion de fraction ; de ce point de vue, les notions d'addition et de soustraction, pour les fractions, se présentent aisément : il n'en est pas de même de la multiplication, et il me semble qu'il a fallu un effort notable pour reconnaître l'intérêt qu'il y a à regarder comme des opérations de la même nature celle qui consiste à répéter un nombre trois fois et celle qui consiste à en prendre les deux cinquièmes, et aussi, pour apercevoir l'identité des propriétés essentielles de ces deux sortes d'opérations. Vraisemblablement, la règle pour obtenir la surface d'un rectangle a été l'origine de cette généralisation. Si l'on se place au point de vue de la mesure, de la mesure des longueurs, par exemple, la considération du changement d'unité permet aussi d'envisager d'un même point de vue le produit de deux nombres entiers ou de deux nombres fractionnaires.

Lorsqu'on veut constituer l'arithmétique en

n'introduisant pas d'autre notion première que le nombre entier, une fraction apparaît comme un couple de deux nombres entiers, le dénominateur et le numérateur, rangés dans un ordre déterminé et qui ne jouent pas le même rôle. Sur ce couple, que l'on convient d'appeler nombre, il y a lieu de reprendre les définitions de l'égalité et des opérations fondamentales. Ces définitions, qui semblent alors arbitraires, sont naturellement celles qui proviennent de l'origine concrète des fractions et il est aisé de constater que ces définitions conservent les propriétés essentielles des opérations, observées sur les nombres entiers.

L'introduction des nombres irrationnels est beaucoup plus compliquée. Pour la définition d'une fraction, deux nombres entiers suffisent ; pour définir un nombre irrationnel, il faut une infinité de nombres entiers ou, ce qui revient au même, une règle qui permette de séparer les nombres entiers et fractionnaires en deux classes, de façon que les nombres de la première classe soient tous plus petits que les nombres de la seconde classe. Telles sont, par exemple, la classe des nombres entiers et fractionnaires dont le carré est inférieur à deux, et celle des nombres dont le carré est supérieur à deux. On démontre facilement qu'il n'y a pas, dans la première classe, de nombre plus grand que tous les nombres de cette première classe, qu'il n'y a pas, dans la seconde classe, de nombre plus petit que tous les autres nombres de cette seconde classe ; une pareille *coupure*, pratiquée dans l'ensemble des nombres entiers et fractionnaires, définit ce que l'on appelle un nombre irrationnel et permet de

préciser, de la façon la plus simple, ce qu'il faut entendre par les valeurs approchées de ce nombre irrationnel, par excès ou par défaut : inversement, la connaissance de ces valeurs approchées, en particulier des valeurs approchées à $\frac{1}{10^n}$ près, permet de retrouver la coupure qui définit le nombre irrationnel.

Les Grecs avaient observé l'existence de longueurs définies géométriquement, le côté et la diagonale du carré, par exemple, qui sont incommensurables entre elles ; ils avaient reconnu l'importance de cette observation, et, bien qu'ils n'eussent pas entièrement dégagé la notion du nombre irrationnel, ils avaient établi la théorie de la proportionnalité en géométrie, d'une façon qui reste un modèle de rigueur et d'élégance, et qui revient à la définition précise de l'égalité de deux nombres irrationnels. Quant aux opérations sur ces nombres, ils les remplaçaient habituellement par des constructions géométriques.

Si l'on veut se placer au point de vue abstrait que j'ai spécifié plus haut, où n'interviennent au fond que la notion du nombre entier et l'idée de l'infini, déjà impliquée dans cette notion, il est indispensable de reprendre les définitions de l'égalité et des opérations fondamentales, puis de constater, comme pour les fractions, la permanence des propriétés essentielles de ces opérations. Il n'y a, à cela, aucune difficulté véritable.

Les nombres, dont il a été question plus haut, sont les nombres *absolus*. Les nombres négatifs se sont, en fait, introduits comme solutions *fausses* des équations. On a observé que ces « fausses

solutions » pouvaient s'interpréter et, de ces interprétations, s'est dégagée peu à peu la notion des nombres négatifs et des nombres positifs : on identifie ces derniers avec les nombres absolus. L'introduction de nombres précédés d'un signe, pour représenter les grandeurs susceptibles d'être comptées dans des sens opposés, pour fixer, par exemple, un point sur un axe au moyen de son abscisse, ou, dans la durée, la date d'un événement, semble aujourd'hui si naturelle, qu'on est presque disposé à s'étonner qu'elle ne se soit pas dégagée directement et, avec elle, la notion des nombres *relatifs* (positifs ou négatifs). Mais il n'était pas si aisé de reconnaître l'avantage qu'il y a à choisir, pour les signes dont on affecte les nombres, les signes mêmes de l'addition et de la soustraction.

Quoi qu'il en soit, en se plaçant au point de vue abstrait, il est aisé d'introduire les nombres relatifs comme des symboles formés d'un nombre absolu que précède le signe + ou le signe —, de reprendre les définitions des opérations et de constater, une fois de plus, la permanence des propriétés essentielles de ces opérations.

Les nombres entiers, y compris zéro, les nombres fractionnaires, positifs ou négatifs, constituent ce que l'on appelle les nombres *rationnels;* les nombres rationnels et irrationnels sont tous désignés comme *réels*.

Lorsqu'on a choisi un système d'axes, un point géométrique est entièrement déterminé par ses trois *coordonnées*, qui sont trois nombres réels : chacun de ces nombres a d'ailleurs une signification distincte. Rien n'empêche d'appeler point un système de trois nombres, rangés dans un

ordre déterminé, puis de définir, en restant au seul point de vue du nombre, ce que l'on entend par une droite, un plan, une distance,... ; ces définitions seront faites de manière à conserver les phrases qui expriment les propriétés géométriques, ou une partie de ces propriétés. Je ne puis développer ici les théories de cette sorte, mais le lecteur peut tout au moins soupçonner la possibilité de constituer les diverses géométries comme des chapitres de la science des nombres; la généralisation qui consiste à appeler point, non plus un système de trois nombres, mais bien un système de quatre, cinq,... nombres est alors naturelle, et la construction de géométries à quatre, cinq,... dimensions n'est pas faite pour étonner; il s'agit au fond de nouveaux chapitres de la même science du nombre; ce qui est plus étonnant, c'est l'utilité du langage géométrique dans ces chapitres d'analyse, et la commodité qu'il y a parfois à regarder notre géométrie ordinaire comme un cas particulier d'une « géométrie » plus générale.

L'origine des nombres imaginaires est dans les formules de résolution de l'équation du second degré. Ces formules, lorsque l'équation n'a pas de racines, n'ont plus de sens : elles conduisent à des expressions de la forme $a + b\sqrt{-1}$, où a et b sont des nombres réels, expressions qui n'ont par elles-mêmes aucune signification. Il arrive qu'en calculant avec des expressions telles que $a + bi$, comme si i désignait un nombre réel, et en remplaçant toujours i^2 par -1, on parvient, au lieu des absurdités auxquelles on aurait pu s'attendre, non seulement à des résultats exacts, mais à des propositions nouvelles de

la plus haute importance. Longtemps, les mathématiciens ont fait de pareils calculs, sans les légitimer par une théorie des symboles qu'ils avaient eu l'audace d'introduire. Cette théorie, aujourd'hui, n'est pas difficile à construire; sous quelque forme qu'on la présente, elle revient à regarder un nombre imaginaire $a + b\sqrt{-1}$ comme un couple de nombres réels, a et b, qui jouent d'ailleurs des rôles différents, de même qu'on regarde une fraction comme un couple de nombres entiers, puis à reprendre les définitions de l'égalité et des opérations fondamentales sur les nombres imaginaires, de manière à conserver les propriétés essentielles de ces opérations. Ces définitions résultent aisément des règles de calcul auxquelles on soumettait les nombres imaginaires sans se préoccuper davantage de leur légitimité : elles résultent aussi de ce que remplacer, dans un polynome en i, i^2 par -1 revient à prendre le reste de la division de ce polynome par $i^2 + 1$. On peut encore se servir d'une interprétation géométrique, qui consiste à faire correspondre au nombre $a + bi$, dans un plan rapporté à un système de coordonnées rectangulaires, le point dont l'abscisse est a et dont l'ordonnée est b. De même que les nombres fractionnaires comprennent comme cas particulier les nombres entiers, les nombres imaginaires contiennent comme cas particulier les nombres réels, en vertu de cette convention que le nombre $a + bi$ est identique au nombre réel a, quand b est nul. Dans la représentation géométrique, un nombre imaginaire est représenté par un point quelconque du plan; un nombre réel, par un point de l'axe des abscisses.

Bien qu'on puisse constituer une théorie parfaitement claire et rigoureuse des nombres imaginaires, en partant du nombre entier, rien n'aurait pu faire prévoir au mathématicien qui, par impossible, aurait imaginé *a priori*, il y a quelques siècles, une pareille théorie, l'extraordinaire importance des conséquences auxquelles elle pouvait conduire : en fait, avant qu'elle fût constituée, ces conséquences étaient connues en grande partie. Les définitions abstraites, à partir du nombre entier, des nombres fractionnaires, relatifs, imaginaires, semblent arbitraires, jusqu'à en être répugnantes. Pourquoi ces définitions plutôt que d'autres, pourquoi étudier ces combinaisons spéciales de nombres entiers plutôt que d'autres? C'est l'expérience seule qui, avant que l'on en fît la théorie abstraite, a montré la valeur de ces combinaisons, et les raisons que l'on peut maintenant apporter pour les justifier n'infirment en rien l'assertion précédente.

J'ai essayé de décrire, dans les pages qui précèdent, les extensions successives de l'idée de nombre, à partir du nombre entier; les nombres fractionnaires embrassent les nombres entiers, les nombres rationnels embrassent les nombres entiers ou fractionnaires absolus, les nombres réels embrassent les nombres rationnels, les nombres imaginaires embrassent les nombres réels. Il y a souvent lieu de porter l'attention sur un *ensemble* spécial de nombres, sur l'ensemble des nombres entiers, par exemple, ou des nombres premiers, ou des nombres décimaux, ou des nombres réels compris entre 0 et 1. On sait parfaitement, d'un nombre donné quelconque, s'il appartient ou non à chacun des ensem-

bles énumérés plus haut. Définir un ensemble, c'est donner le moyen de reconnaître sur n'importe quel nombre s'il appartient ou non à cet ensemble. Des propriétés importantes peuvent être établies sur les ensembles, indépendamment de leur mode de définition, qui n'a pas besoin d'être spécifié : il suffit, pour affirmer ces propriétés, que l'ensemble soit *déterminé*, que l'on soit certain, d'un nombre quelconque, qu'il appartient ou n'appartient pas à l'ensemble ; telles sont les deux propositions suivantes, qui ne se rapportent d'ailleurs qu'à des ensembles formés de nombres réels :

Si un ensemble contient une infinité de nombres, tous inférieurs à un nombre A, il existe un nombre *a*, la *borne supérieure* de l'ensemble, qui jouit des propriétés suivantes : 1° Aucun nombre de l'ensemble n'est plus grand que *a ;* 2° Si *a* n'appartient pas à l'ensemble, il y a, dans cet ensemble, des nombres aussi voisins de *a* qu'on le veut.

Si un ensemble contient une infinité de nombres tous compris entre les nombres A et B, il existe au moins un nombre *a* jouissant de la propriété suivante : il y a dans l'ensemble une infinité de nombres qui diffèrent aussi peu qu'on le veut de *a ;* ce nombre *a* peut d'ailleurs appartenir ou ne pas appartenir à l'ensemble, dont il est ce qu'on appelle un élément d'accumulation.

Par exemple, si l'on considère l'ensemble des fractions décimales dont la partie entière est 0 et dont tous les chiffres décimaux sont des 9, on peut trouver, dans cet ensemble, une infinité de fractions dont la différence avec le nombre 1 est

moindre que $\frac{1}{1000}$, que $\frac{1}{10000}$,..., que tel nombre qu'on voudra, si petit qu'il soit. Le nombre 1 est un élément d'accumulation de l'ensemble considéré; il en est aussi la borne supérieure; il n'appartient pas à l'ensemble.

*
* *

Chaque extension nouvelle de l'idée de nombre se fait en expliquant comment s'effectuent, sur les nouveaux éléments que l'on fait entrer dans la catégorie du nombre, les opérations fondamentales : addition, soustraction, multiplication, division. La classe des nouveaux nombres n'est vraiment définie que quand on a donné cette explication. Si, par exemple, on se borne à dire, comme je l'ai fait plus haut, « un nombre fractionnaire est un couple de nombres entiers », sans ajouter que ce couple doit être soumis à certaines règles de calcul, on n'a pas défini ce qu'est un nombre fractionnaire; cette définition n'est terminée que quand on a expliqué ces règles. La même observation s'applique aux nombres relatifs, aux nombres imaginaires,...

A chaque échelon qu'on gravit, on retrouve les mêmes propriétés essentielles des opérations; chaque extension est faite de manière à assurer la permanence des propriétés; sans cette permanence, il ne conviendrait pas de conserver le même nom à des opérations qui portent sur des objets très différents. Ces propriétés essentielles sont en petit nombre, pour chacune des opérations; on en déduit beaucoup d'autres; par exemple, dans les divers traités d'arithmétique,

on établit les propriétés relatives aux produits de plusieurs facteurs en partant des propositions qu'expriment les égalités.

$$ab = ba. \qquad a(bc) = (ab)c.$$

On établit ces propriétés, tout d'abord, en raisonnant sur des nombres entiers; mais leur démonstration ne repose pas sur ce fait que les facteurs sont entiers, elle repose uniquement sur les deux égalités qui précèdent; dès lors qu'on aura démontré ces égalités pour les nombres fractionnaires, relatifs, irrationnels, imaginaires, leurs conséquences vaudront aussi bien pour ces nouveaux nombres. Remarquons encore que, si la juxtaposition de deux lettres, sans signe qui les sépare, signifiait, non le produit des nombres que figurent ces lettres, mais bien leur somme, ces égalités seraient encore vraies : elles expriment des propriétés communes à la multiplication et à l'addition; les conséquences s'appliqueraient alors, non plus à un produit de facteurs, mais à une somme de nombres. Le lecteur ne peut manquer d'apercevoir ces conséquences : dans une somme d'autant de termes qu'on le veut, on peut intervertir l'ordre des termes; on peut remplacer tels termes que l'on veut par leur somme effectuée. Ces conséquences lui sembleront peut-être bien banales, au moins s'il s'agit de nombres entiers positifs; elles lui paraîtront moins évidentes, si, au lieu de sommes de nombres, il s'agit de sommes géométriques de vecteurs, cas auquel le même raisonnement s'applique. Il s'appliquerait encore aux sommes d'éléments formés d'un point et d'un nombre,

si l'on convenait d'ajouter de pareils éléments d'après la règle qui donne le centre de gravité de deux points matériels, ayant chacun une masse. Je pourrais multiplier les exemples, tant pour la multiplication que pour l'addition.

C'est là un exemple simple d'une circonstance qui se présente fréquemment en mathématiques : un même raisonnement qui s'applique à des objets divers, comme une identité algébrique s'applique à des nombres différents; ce raisonnement ne dépend pas des objets auxquels il s'applique, mais de quelques propriétés de ces objets.

Le mathématicien se plaît à retrouver, à transporter dans des domaines encore inexplorés, des raisonnements qu'il a éprouvés ailleurs, et dont il a su reconnaître la généralité, alors qu'ils s'appliquaient à des objets particuliers, avec lesquels il était familier.

Les opérations de l'arithmétique, en particulier, se transportent dans d'autres domaines, dans la théorie des nombres, dans l'algèbre, dans la géométrie, dans la mécanique : elles conservent tantôt toutes leurs propriétés essentielles, tantôt une partie de ces propriétés. Parfois quelqu'une de ces propriétés est remplacée par une autre et il faut alors examiner attentivement les modifications qui, pour les conséquences, résultent de ce changement. Ainsi, on est amené à considérer des sortes de multiplications où le produit des deux facteurs change de signe quand on intervertit l'ordre de ces deux facteurs.

Le lecteur a peut-être rapproché, dans son esprit, ce qui vient d'être dit sur les propriétés

essentielles des opérations fondamentales effectuées sur les nombres de ce qu'on a dit plus haut des axiomes de la géométrie; ce rapprochement est juste : les propriétés essentielles des opérations fondamentales sont liées si intimement à l'idée de nombre qu'on peut les regarder comme les axiomes relatifs au nombre, axiomes dont les conséquences peuvent être poursuivies indépendamment du contenu de l'idée de nombre. C'est un point de vue que je me contente d'indiquer.

Mais je dois, au risque d'une courte digression, insister un peu sur l'une des observations qui précèdent. De nombreux progrès ont été réalisés en transportant une théorie d'un domaine, pour lequel elle a été créée, dans un autre, en recherchant les lois analogues à un système de lois déjà connues. Tantôt, la théorie se transporte telle quelle, tantôt elle doit se modifier pour s'adapter. Là, pour obtenir les lois que l'on veut retrouver à toute force, il faut introduire des éléments d'une nature cachée : tels les nombres imaginaires. Il n'est pas d'écolier qui n'ait observé les analogies et les dissemblances des triangles et des angles trièdres, ou des triangles sphériques. La théorie arithmétique du plus grand commun diviseur et ses conséquences se reproduisent en algèbre, pour les polynomes. Mais la notion de polynome irréductible, qui correspond à celle de nombre premier, est d'une nature différente, en raison des diverses significations qu'on peut lui donner, suivant les divers domaines de rationalité que l'on considère. Il a fallu créer les *idéaux* pour retrouver, dans la théorie de la divisibilité des entiers algébriques, la loi essentielle d'après laquelle un nombre

entier ne peut être décomposé que d'une seule façon en un produit de facteurs premiers.

*
* *

Si l'on effectue, sur certains nombres donnés, une opération ou une suite d'opérations, on obtiendra un résultat qui dépendra des *données*, qui changera avec ces données, ces opérations restant les mêmes. Si l'on représente par des lettres les données, ou quelques-unes d'entre elles, et que l'on représente les opérations à effectuer par les signes de l'arithmétique, on aura une formule, où les lettres qui y figurent pourront être remplacées par tels nombres que l'on voudra et être regardées, à ce titre, comme des *variables*. On a formé ainsi une fonction *explicite* de ces variables; l'épithète « explicite » signifie ici que l'on sait explicitement les opérations à effectuer pour obtenir le résultat, quand on se donne les valeurs numériques des variables. Lorsque les opérations à effectuer sur ces variables ne sont autres que les opérations fondamentales de l'arithmétique, la fonction est dite *rationnelle;* elle est dite *rationnelle et entière* lorsque ces opérations se réduisent à l'addition, la soustraction et la multiplication; on la qualifie aussi de *polynome*, dans ce dernier cas. Etudier ces fonctions, les liens qu'elles ont entre elles, la façon dont elles se comportent quand on change les valeurs des variables, déterminer, en particulier, celles de ces valeurs qui les annulent, tel est l'objet de l'algèbre.

La notion de fonction s'étend tout naturellement : on enseigne en arithmétique d'autres

façons d'opérer que les quatre opérations fondamentales, l'extraction de la racine carrée, par exemple. Toute façon d'opérer sur des nombres, qui reste la même quels que soient ces nombres, définit une fonction. Je reviendrai sur cette notion un peu plus loin, mais je veux faire remarquer tout d'abord que la notion d'opération s'étend à d'autres objets que des nombres; j'ai fait allusion plus haut à des opérations géométriques, à l'addition des vecteurs, par exemple. Toute construction géométrique est une opération sur des données, qui conduit à un résultat, lequel peut être regardé comme une fonction, une transformation de ces données. Mener la droite qui joint deux points donnés, c'est faire une opération sur ces points, dont le résultat est cette droite; l'opération reste la même quels que soient ces deux points; son résultat dépend de ces deux points.

La géométrie fournit une infinité d'exemples de transformations, de transformations *ponctuelles*, par exemple, qui d'un point quelconque permettent de déduire un autre point : telles sont la symétrie, la translation, la rotation, l'homothétie, l'inversion,... Chacune de ces transformations est une construction, ou une suite de constructions, qui, en partant d'un point, conduisent à un autre point, que l'on regarde comme le transformé du premier, son image, si l'on veut.

Une figure, considérée comme un ensemble de points, est transformée en une autre figure, ensemble des points transformés; la transformation est une sorte de miroir qui déforme les figures, d'après certaines lois qui dépendent de

sa définition, et l'on peut ainsi déduire les propriétés de l'image des propriétés de la figure primitive, de même que des propriétés d'un ensemble de valeurs attribuées à une variable, on peut déduire les propriétés de l'ensemble correspondant des valeurs d'une fonction de cette variable.

Ces idées sont aisées à saisir dans leur généralité : on peut les faire comprendre à un débutant, sur des exemples simples. Il ne faut pas croire pourtant qu'on y soit venu tout d'un coup. En particulier, la notion de *variable*, d'une lettre qui peut prendre n'importe quelles valeurs numériques, a été malaisée à dégager. Sans doute l'emploi des lettres pour figurer les nombres est très ancien; mais, primitivement, une lettre désigne toujours un nombre fixe et, tout d'abord, l'inconnue d'un problème, dont les données sont numériques; l'emploi des lettres pour désigner les données est déjà un progrès considérable. La notion de fonction apparaît confusément : de certains nombres fixes, séparés, on déduit d'autres nombres, par une même suite d'opérations; on construit même des tables qui donnent le résultat de ces opérations; on n'a pas encore l'idée de représenter par une seule lettre l'un quelconque des nombres sur lesquels on opère, et le résultat au moyen d'un signe fonctionnel qui porte sur cette lettre et représente la suite des opérations à effectuer. Les traces de ces anciennes habitudes subsistent dans les livres actuels, par exemple dans les traités d'arithmétique, où l'on explique ce que sont des nombres proportionnels à d'autres, au lieu de définir la fonction ax, dans beaucoup de traités de géométrie élémentaire, où, au lieu de définir

une transformation ponctuelle en général, on considère des points A, B, C, D,..., auxquels on fait correspondre des points A′, B′, C′, D′,...

L'état d'esprit des anciens géomètres se manifeste encore dans des expressions telles que *division* homographique....

Il importe de remarquer qu'une fonction d'une variable n'est définie que si les opérations à effectuer ont toutes un sens ; elles ne doivent pas, par exemple, comporter une division par zéro ou, si l'on reste dans le réel, l'extraction de la racine carrée d'un nombre négatif : la suite des opérations à effectuer peut avoir un sens pour certaines valeurs de la variable et n'en pas avoir pour d'autres. Pour cette raison, il convient de modifier la notion de la variable : celle-ci n'est pas une lettre qui peut, comme je l'ai dit provisoirement, prendre n'importe quelles valeurs, mais bien n'importe quelles valeurs appartenant à un certain ensemble. Il y a des fonctions qui ne sont définies que pour les valeurs entières et positives de la variable, par exemple le produit des n premiers nombres entiers : une telle fonction est définie pour l'ensemble des nombres entiers ; d'autres sont définies pour l'ensemble des nombres rationnels, d'autres, pour l'ensemble des nombres compris entre 0 et 1, etc...

Enfin, il convient de détacher la notion de fonction de cette idée d'une suite d'opérations qui lui a donné naissance, pour la rattacher à une idée plus générale, celle de *correspondance*.

L'objet A correspond à l'objet B, si la pensée de l'objet B éveille la pensée de l'objet A. C'est là une idée très générale, un peu vague dans sa généralité, qui se précise par l'habitude et les

exemples : ainsi, deux triangles étant donnés, on peut faire correspondre, de diverses façons, chaque sommet de l'un à un sommet de l'autre, chaque côté de l'un à un sommet de l'autre, chaque côté de l'un à un côté de l'autre; à chaque nombre réel, on peut faire correspondre un point d'un axe, dont ce nombre est l'abscisse; à chaque nombre imaginaire on peut faire correspondre un point d'un plan. A chaque cercle d'un plan on peut faire correspondre un système de trois nombres, dont les deux premiers sont les coordonnées du centre de ce cercle, dont le troisième mesure la longueur du rayon; à chaque point de l'espace on peut faire correspondre sa projection sur un plan. A chaque nombre entier on peut faire correspondre le double de ce nombre, ou son carré, etc...

Reportons-nous à la définition précédemment donnée d'une fonction d'une variable x et considérons l'ensemble des valeurs que peut prendre cette variable : une suite d'opérations arithmétiques fait correspondre au nombre x un nombre déterminé y; à chaque nombre x de l'ensemble proposé correspond ainsi un nombre y; les divers nombres y, qui correspondent ainsi aux divers nombres x, constituent un second ensemble dont chaque nombre correspond à quelque nombre du premier ensemble. C'est là la notion la plus générale que l'on puisse avoir d'une fonction d'une variable : elle consiste dans la correspondance des nombres d'un ensemble (les valeurs de la fonction) aux nombres d'un autre ensemble (les valeurs de la variable), et l'écriture $y = f(x)$ n'indique rien autre chose que cette correspondance déterminée. Comme on peut considérer

des ensembles de systèmes de nombres, on peut définir de la même façon une fonction de plusieurs variables ou des systèmes de fonctions de plusieurs variables. On peut de même faire correspondre aux points d'un ensemble de points, les points d'un autre ensemble de points, les droites, les plans, les sphères,... d'un autre ensemble de droites, de plans, de sphères....

Je devrais peut-être m'arrêter plus longtemps que je ne ferai sur la notion de *limite*, qui est fondamentale en mathématique. Lorsqu'on dit d'un objet variable X que, dans certaines conditions, il s'approche indéfiniment d'un objet fixe A, qu'il a A pour limite, il est nécessaire, dans chaque cas particulier, de spécifier ces conditions et de préciser ce qu'il faut entendre par les mots « s'approche indéfiniment ». Faute de ces précisions, on ne fait que des semblants de raisonnement. Il convient, en particulier, de se défier de certaines expressions vagues et commodes comme « passer à la limite ». Au début de cet article, je me suis permis de dire que les notions de ligne droite, de plan,... résultaient d'une sorte de passage à la limite. A coup sûr, j'aurais été incapable de préciser ma pensée ; j'ai cherché une expression vague pour la rendre : je n'employais nullement un langage scientifique ; mais, maintenant, il s'agit d'une notion mathématique qui doit être nettement précisée. Lorsqu'on parle de la limite A d'une fonction de la variable x, pour $x = a$, on entend que la différence entre A et la valeur de la fonction est aussi petite qu'on le veut, pourvu que la différence entre x et a soit suffisamment petite : quand x est voisin de a, la valeur de la fonction fournit

une valeur approchée de la limite A, et cette valeur est aussi approchée de A qu'on le veut, pourvu que x soit suffisamment voisin de a. En parlant ainsi, on sous-entend qu'il y a, dans l'ensemble des valeurs que peut prendre la variable, des nombres aussi voisins de a que l'on veut ; que, en d'autres termes, a est un élément d'accumulation de cet ensemble : la limite A, sauf dans le cas où la fonction de x resterait constamment égale à A quand x est suffisamment voisin de a, est un élément d'accumulation de l'ensemble des valeurs que prend la fonction. Ces éléments d'accumulation peuvent d'ailleurs appartenir, ou non, l'un à l'ensemble des valeurs de la variable, l'autre à l'ensemble des valeurs de la fonction.

Il arrive très fréquemment qu'un nombre ne soit défini que comme limite, le procédé qui le définit fournissant des valeurs de ce nombre aussi approchées qu'on veut ; il peut en être ainsi pour toutes les valeurs d'une fonction.

Je me suis efforcé de présenter l'idée de fonction dans toute sa généralité. Cette généralité même laisse quelque inquiétude dans l'esprit : comment choisir entre toutes ces correspondances qu'on peut réaliser ? Pourquoi celle-ci plutôt qu'une autre ? Quelles sont celles qui méritent notre attention ?

En réalité on ne crée pas arbitrairement les fonctions que l'on étudie, on les découvre peu à peu, on les sépare, on les rapproche, on les classe, on les généralise. Les polynomes, les fonctions rationnelles, les fonctions algébriques, se sont présentées naturellement, nécessairement, à l'esprit des mathématiciens, par le développe-

ment même du calcul algébrique. Les fonctions circulaires sont nées de la trigonométrie. La fonction logarithmique et la fonction exponentielle se sont dégagées de deux inventions admirables, les tables de logarithmes et la généralisation de la notion d'exposant. Les fonctions que je viens d'énumérer sont celles qu'on désigne, en analyse, sous le nom de fonctions élémentaires. L'introduction des nombres imaginaires a révélé des liens intimes entre les fonctions circulaires, logarithmique et exponentielle ; mais je veux me borner, dans ce qui suit, aux valeurs réelles, soit des fonctions, soit des variables.

Lorsqu'une fonction $f(x)$ est définie pour toutes les valeurs de x comprises entre les deux nombres A et B, une des premières questions qui se posent est de savoir si la fonction $f(x)$ augmente ou diminue quand x augmente : il est naturel de comparer à l'accroissement de la variable l'accroissement correspondant de la fonction. On est ainsi amené, en désignant par a, b deux valeurs de x, à considérer le rapport de la différence $f(b) - f(a)$ à la différence $b - a$; ce rapport est le *taux* moyen de l'accroissement de la fonction quand la variable passe de la valeur a à la valeur b. Si, lorsque b s'approche indéfiniment de a, $f(b)$ a pour limite $f(a)$, la fonction $f(x)$ est *continue* pour $x = a$; si, en outre, le rapport considéré tend, dans les mêmes conditions, vers une limite, on dit que la fonction $f(x)$ admet une *dérivée* pour $x = a$, la valeur de cette dérivée n'étant autre que la limite du rapport; c'est, en quelque sorte, le taux instantané de l'accroissement. La fonction $f(x)$ peut admettre une dérivée pour toutes les valeurs de x com-

prises entre A et B; la dérivée est alors une fonction de x, définie pour toutes ces valeurs, fonction qui peut elle-même avoir une dérivée, laquelle est dite dérivée seconde (ou du second ordre) de la fonction proposée, etc.

La détermination des dérivées des fonctions les plus simples est le premier problème du calcul différentiel; sa solution est facile pour les fonctions élémentaires précédemment définies et leurs combinaisons simples. La connaissance de la dérivée d'une fonction $f(x)$ fournit les renseignements les plus précis sur la façon dont cette fonction varie; elle permet aussi de déterminer la tangente au lieu des points dont x est l'abscisse et dont $f(x)$ est l'ordonnée. Inversement, la détermination de l'aire de cette courbe revient à trouver une fonction qui ait $f(x)$ pour dérivée; ce problème « déterminer une fonction dont on connaît la dérivée », est le premier problème du calcul intégral. Un problème plus général consiste à trouver une fonction, d'après une relation donnée entre la variable, la fonction et sa dérivée ou ses dérivées jusqu'à un certain ordre. Or, les problèmes de cette nature ne peuvent pas, le plus souvent, se résoudre au moyen des fonctions précédemment étudiées. Si, par exemple, on avait inventé le calcul intégral avant les logarithmes, on n'aurait pu répondre à cette question : quelle est la fonction dont la dérivée est l'inverse de x? La fonction logarithmique aurait été forcément créée pour répondre à cette question, et les géomètres auraient fini par en découvrir les propriétés comme conséquence de cette définition. Le calcul intégral, par les questions même qu'il pose et que les fonctions connues ne suffisent

pas à résoudre, nécessite ainsi la création successive d'une infinité de fonctions nouvelles, qu'il faut ensuite étudier et classer, dont il faut découvrir les relations mutuelles, ou les barrières qui les séparent.

Ces créations ne sont nullement arbitraires; elles s'imposent successivement; ou plutôt elles ne sont pas des créations, mais des découvertes, des découvertes d'êtres mathématiques qui se révèlent à nous par leurs propriétés différentielles, d'où nous nous efforçons de conclure les autres propriétés.

« Mon cher ami, écrit Hermite à Stieltjes, je me sens tout joyeux de vous savoir en si bonne disposition que vous vous transformez en naturaliste pour observer les phénomènes du monde arithmétique. Votre doctrine est la mienne; je crois que les nombres et les fonctions de l'analyse ne sont pas le produit arbitraire de notre esprit; je pense qu'ils existent en dehors de nous avec le même caractère de nécessité que les choses de la réalité objective, et que nous les rencontrons ou les découvrons, ou les étudions, comme les physiciens, les chimistes et les zoologistes, etc.[1] »

Un chapitre fort intéressant concernerait l'influence vraiment extraordinaire qu'ont eue, sur le développement de la théorie des fonctions, les

1. *Correspondance d'Hermite et de Stieltjes*, II, p. 398. On trouve, dans les manuscrits de Galois, cette phrase dont la fin est malheureusement illisible.

Toute immatérielle qu'elle [est], l'analyse n'est pas plus en notre pouvoir que d'autre...

Manuscrits et papiers inédits de Galois. *Bulletin des sciences mathématiques*, t. XXX, p. 260.)

problèmes posés par les sciences physiques; mais ce sujet dépasse les bornes du présent article.

*
* *

Comme toutes les autres sciences, les mathématiques se sont développées par l'accroissement des vérités particulières, d'une part, et, de l'autre, par l'acquisition d'idées et de théories de plus en plus générales. Tous les grands géomètres ont eu, à la fois, le goût du particulier et du général, des faits précis et des vastes spéculations ; quelques-uns, peut-être, préféraient regarder d'un côté ou de l'autre. Mais le progrès dans un sens s'est toujours mêlé au progrès dans l'autre; d'une part, la connaissance d'une loi générale permet d'atteindre plus de faits particuliers; d'autre part, la généralité d'un raisonnement, d'une méthode, apparaît mieux sur un fait particulier que sur un autre.

Dire que tout accroissement d'une science résulte de l'état de cette science, au moment où se produit cet accroissement, c'est faire une affirmation bien banale, mais à laquelle on ne donne pas assez d'attention, quand il s'agit des mathématiques, d'autant que toute proposition découverte est rattachée aux axiomes par cela même qu'elle est démontrée, et qu'il semble qu'on aurait pu aussi bien la déduire des axiomes, n'importe quand : cela semble à ceux qui regardent la science faite, non la science qui se fait.

« En vain, dit Galois[1], les analystes voudraient-

1. Manuscrits et papiers inédits de Galois. (*Bulletin des sciences mathématiques*, 2e série, t. XXX, p. 260.)

ils se le dissimuler : ils ne déduisent pas, ils combinent, ils comparent; quand ils arrivent à la vérité, c'est en heurtant de côté et d'autre qu'ils y sont tombés...

« En mathématiques, comme dans toutes les sciences, chaque époque a en quelque sorte ses questions du moment : il y a des questions vivantes qui fixent à la fois les esprits les plus éclairés comme malgré eux... Il semble souvent que les mêmes idées apparaissent à plusieurs comme une révélation. Si l'on en cherche la cause, il est aisé de la trouver dans les ouvrages de ceux qui nous ont précédés, où ces idées sont présentes à l'insu de leurs auteurs [1]. »

Dans les lignes d'Hermite qui suivent se retrouve la conception mystique que j'ai déjà citée, à laquelle il se plaisait ; mais la pensée, au fond, est bien la même que celle de Galois.

« Pour moi, Monsieur, je ne suis qu'algébriste et jamais je n'ai quitté la sphère des mathématiques subjectives. Je suis, toutefois, bien convaincu qu'aux spéculations les plus abstraites de l'analyse correspondent des réalités qui existent en dehors de nous et parviendront quelque jour à notre connaissance. Je crois même que les efforts des géomètres purs reçoivent, à leur insu, une direction qui les fait tendre vers un tel but, et l'histoire de la science me paraît prouver qu'une découverte analytique survient au moment nécessaire pour rendre possible chaque nouveau progrès dans l'étude des phénomènes du monde réel qui sont accessibles au ealcul [2]. »

1. *Bulletin des sciences mathématiques*, 2e série, t. XXX, p. 262.

2. *Correspondance...*, t. I, p. 8.

Chaque découverte vient à son heure; elle est rendue possible par celles qui l'ont précédée. C'est, à chaque instant, ce que l'on sait qui suggère les questions et les moyens d'y répondre.

Bien des propositions nouvelles ont été acquises par l'observation, surtout dans la théorie des nombres, où les exemples abondent : elles ont apparu sur des résultats de calculs plus ou moins compliqués ; elles pénètrent plus loin, à mesure que les instruments de calcul sont plus perfectionnés. Bien entendu, ces calculs ne se font pas au hasard ; ils sont dirigés par une pensée, une analogie, un pressentiment que leurs résultats vérifient ou modifient. Le mathématicien attend parfois le résultat du calcul où il est plongé avec la même impatience, que le physicien, le résultat d'une expérience cruciale. Le physicien, lui non plus, ne fait pas ses mesures au hasard : lui aussi se laisse guider par leurs résultats, s'avance plus loin dans le chemin où il s'est engagé, se détourne à droite ou à gauche.

« Certainement, dans nos recherches, nous ne saurions fixer toujours d'avance le but à atteindre; on cherche, mais on ne sait pas d'avance ce que l'on trouvera, et parfois on est jeté ainsi sur des routes toutes imprévues. C'est, je crois, aussi l'utilité des recherches sur des fonctions particulières de nous montrer le but à atteindre dans les recherches plus générales[1]. »

De même que le physicien, familier avec les instruments de son laboratoire, cherche naturellement des questions nouvelles qu'il pourra

1. Stieltjes. *Correspondance d'Hermite et de Stieltjes*, t. II, p. 438.

aborder avec ses instruments, en les combinant et les modifiant au besoin, de même, une partie du génie d'invention consiste pour le mathématicien, à imaginer de nouveaux problèmes où il puisse pénétrer avec les méthodes dont il dispose. D'après M. Zeuthen, cette faculté, qui n'a rien à faire avec la déduction, et que l'on discerne aisément chez les grands mathématiciens des temps modernes, se manifeste déjà, à un très haut degré, chez Archimède[2].

Dans les diverses sciences, la matière et les instruments diffèrent, la marche de l'invention est la même. Mêmes essais, mêmes tâtonnements, même patience active et tendue, pour ainsi dire, vers un objet qui s'éclaire parfois, mêmes espoirs trompés, même finesse et même imagination pour saisir les analogies, les liens cachés, les rapports inattendus.... Au mathématicien, quand il a trouvé une loi, on demande plus qu'au physicien; sans doute, celui-ci souhaite rattacher sa loi à une théorie générale; mais le mathématicien *doit* la démontrer; la proposition n'est vraiment acquise, et certaine, que lorsqu'elle a été rattachée aux axiomes. Il est fort remarquable qu'on ait donné le nom d'*induction* à l'un des procédés de démonstration, qui consiste à découvrir dans l'énoncé une nécessité interne telle qu'il ne peut être vrai quelquefois sans l'être toujours : les expériences où on l'a trouvé vrai suffisent à l'entière certitude. Il y a de très beaux exemples de ce mode de démonstration.

1. Heiberg et Zeuthen. Eine neue Schrift des Archimedes. (*Bibliotheca mathematica*, Dritte Folge, t. VII, p. 321.)

Sans doute, ce n'est pas toujours d'une façon directe que l'on applique la méthode expérimentale en mathématiques. Il reste vrai que la science acquise, telle qu'il la possède, fournit au mathématicien une matière et des instruments très puissants d'observation et de transformation. Que de calculs numériques auraient été impossibles sans un instrument aussi merveilleux que la numération décimale ! Que de ressources apportent les méthodes de calcul algébrique, de calcul intégral, les transformations géométriques ! Que de moyens pour rapprocher l'inconnu, du connu, pour éclairer l'un au moyen de l'autre, pour changer une vérité en une autre, pour reconnaître l'identité de propositions qui semblaient, tout d'abord, ne pas appartenir au même domaine ! Et ces moyens s'accroissent d'année en année, se perfectionnent, deviennent plus aisés à manier se compliquent, permettent d'atteindre plus loin.

La matière à ouvrer ne manque pas et ne manquera jamais.

On peut faire des progrès utiles, parfois importants, en cherchant à mieux connaître ce qui est déjà connu, en appliquant des méthodes connues à des faits connus. Certaines propositions apparaissent d'abord comme isolées, ou bien l'on ne sait y parvenir que par un seul chemin ; ou encore on ne sait déduire que d'une façon une suite de propositions. Pour relier ces propositions ou ces théories isolées, pour y parvenir par des voies nouvelles, pour multiplier les chemins de traverse, le travailleur dispose parfois de méthodes plus puissantes que celles dont ses prédécesseurs ont dû se contenter ; il peut trou-

ver des voies plus directes, des démonstrations plus simples, et rencontrer, chemin faisant, quelque fait important sur lequel l'attention n'avait pas été attirée. Les travaux de cette nature, si même ils sont modestes, contribuent à l'organisation de la science. Ils peuvent avoir un caractère très élevé et témoigner, chez leur auteur, d'une rare imagination mathématique.

« Par exemple, lorsque M. Klein fait voir que la théorie algébrique de l'équation du cinquième degré est notablement simplifiée par l'étude préalable des propriétés de l'icosaèdre régulier et que ce rapprochement permet aussi d'étudier avec fruit certaines équations différentielles du second ordre, on admire comment cette vue d'ensemble éclaire les faits épars... [1] »

L'étude approfondie de certaines démonstrations laisse parfois à celui qui s'y livre un malaise et même un doute : c'est le signe qu'il y a là quelque chose à chercher ; peut-être la démonstration vaut-elle pour les cas que l'auteur et ceux qui l'ont reproduite avaient en vue, sans que ces cas soient directement spécifiés dans l'énoncé, qui doit être remanié, restreint le plus souvent et quelquefois étendu, car il peut arriver qu'une démonstration prouve plus qu'on ne croyait. Ce sentiment de malaise peut s'étendre à toute une théorie.

Le progrès même de la théorie des fonctions d'une variable réelle a mis en évidence la néces-

1. E. Borel. Logique et intuition en mathématiques. (*Revue de métaphysique et de morale*, t. XV, p. 279.) La thèse soutenue par l'auteur, avec autant d'autorité que de vivacité, est, pour une bonne partie, celle que j'essaie de développer à mon tour.

sité de reviser les fondements de cette théorie. J'ai parlé plus haut du parti qu'on avait tiré des nombres imaginaires avant d'avoir établi rigoureusement les règles de calcul qui concernent ces nombres. On pourrait en dire autant de l'introduction des éléments imaginaires en géométrie : elle a été appuyée d'abord sur des raisons métaphysiques un peu nuageuses, comme le principe de continuité ou le principe des relations contingentes : les vues profondes, et quelque peu hardies, des inventeurs ont été précisées et justifiées, et l'on a pu, grâce aux progrès de l'analyse, légitimer un langage éminemment propre à la généralité des énoncés, langage dont l'habitude, chez quelques géomètres habiles, confine à l'intuition.

Par l'observation et la comparaison des propriétés déjà connues des fonctions ou des figures, par la réflexion attentive sur ce connu, des questions se posent au travailleur : quelques-unes se posent naturellement. Elles sont, par exemple, résolues pour certaines fonctions ou certaines figures, comment ne pas se les poser pour d'autres fonctions ou d'autres figures, dont on connaît déjà quelques propriétés? Les unes sont plus ou moins aisées à résoudre, ou à aborder, par des méthodes connues, et les faits particuliers s'accumulent ainsi. D'autres restent ouvertes pendant des siècles.

Les questions s'enchaînent, se généralisent, se multiplient.

Prenons comme exemple simple la proposition classique sur le carré de l'hypoténuse d'un triangle rectangle; je passe sur la multitude de questions, appartenant à la géométrie élémentaire, auxquelles elle permet de répondre facile-

ment. C'est la première fois, peut-être, que l'on rencontre ce principe général, qui est le fondement de l'application de l'algèbre à la géométrie : quand une figure est déterminée par certains éléments, les valeurs numériques de ces éléments suffisent pour le calcul numérique des autres. Ainsi, un triangle rectangle est déterminé quand on se donne deux de ses côtés ; la valeur numérique du troisième côté doit donc se conclure des valeurs numériques des deux premiers. Mais je laisse encore de côté ce principe, d'autant que les anciens n'en ont sans doute pas aperçu la généralité, à cause de l'habitude qu'ils avaient de raisonner sur des figures plutôt que sur des relations numériques. Peut-être le théorème sur le carré de l'hypoténuse a-t-il été découvert par l'observation de triangles rectangles dont les côtés s'expriment par des nombres simples, les nombres 3, 4, 5 par exemple. En tout cas, la spéculation sur de pareils nombres était familière aux Grecs. N'était-il pas naturel de chercher une règle qui permît de trouver tous les nombres entiers dont le carré est la somme des carrés de deux nombres entiers? La question de savoir si les nombres entiers qui sont la somme de deux carrés n'obéissent pas à quelque loi simple a pu se poser plus tard et cette loi, très simple pour les nombres premiers, a sans doute été trouvée par induction. On s'est demandé ensuite quels nombres entiers pouvaient être représentés par une formule telle que

$$x^2 + 2y^2, x^2 + 3y^2$$

ou, plus généralement,

$$ax^2 + bxy + cy^2$$

en désignant par a, b, c des nombres entiers donnés. C'est l'un des premiers problèmes de la théorie arithmétique des formes quadratiques. Cette théorie avait été poussée fort loin, par des moyens purement arithmétiques, lorsque les fonctions elliptiques furent découvertes. Plusieurs des identités qui se rencontrent dans cette théorie, sortie du calcul intégral, sont liées de la façon la plus étroite au chapitre d'arithmétique dont je viens de parler.

« Je me résigne, écrit Hermite [1], à interroger les formules elliptiques de diverses catégories, en demandant à chacune son secret arithmétique, et à recueillir les réponses utiles ou inutiles avec patience et persévérance. »

L'étude approfondie qu'il avait faite des liens de cette sorte, entre certaines fonctions transcendantes et la théorie des nombres, l'habitude qu'il avait de ces liens avaient développé chez lui l'admiration de l'unité mystérieuse qui domine la science et de l'enchaînement historique des circonstances qui ont fait apparaître cette unité; il n'en parlait jamais sans une émotion presque religieuse.

La facilité même avec laquelle on trouve toutes les solutions, en nombre entiers, de l'équation

$$x^n + y^n = z^n,$$

lorsque n est égal à 2, invite en quelque sorte à chercher les solutions de cette équation pour les autres valeurs entières et positives de n. Fermat a affirmé qu'il n'existait point de pareilles solu-

1. *Corresp.*, I, 96.

tions, en nombres entiers, pour $n > 2$. Cette proposition célèbre n'est pas encore établie pour toutes les valeurs de n : il y a là une question qui reste ouverte.

Que dire du génie d'invention, de l'imagination créatrice? On ne s'attend pas à ce que j'essaie d'en esquisser la psychologie. Voici, autant qu'on en peut juger par les œuvres des grands géomètres, quelques-uns de ses efforts et de ses résultats, et cette énumération ne sera qu'un résumé de ce que je me suis efforcé de décrire plus haut : Découvrir de nouveaux liens entre les choses, attaquer des questions déjà posées avec les méthodes perfectionnées que fournissent les progrès de la science, préciser un problème qui, peut-être, était implicitement contenu dans les travaux antérieurs, lui donner « une forme telle qu'il soit toujours possible de le résoudre[1] », pressentir la solution et y parvenir, choisir les questions qui auront une grande portée, deviner cette portée, saisir, dans le pâle reflet qu'il laisse sur les faits particuliers le rayonnement d'une théorie générale, s'élever jusqu'à cette théorie, jusqu'au point où les faits qui ont permis de la découvrir ne sont plus qu'une infime partie du monde de vérités qu'elle illumine... Les exemples de pareilles découvertes ne manquent pas dans l'histoire des mathématiques, et notre temps n'en a pas été privé.

Il est arrivé souvent que les propositions générales ont été rattachées directement aux axiomes, par une voie plus facile que celle qui permettait, avant leur découverte, d'arriver aux

1. Abel. *Œuvres*, Ed. Sylow, t. II, p. 217.

propositions particulières qu'elles contiennent.

De là résultent des progrès considérables dans les méthodes d'enseignement. De génération en génération, notre pensée, tout en restant aussi limitée, embrasse un plus grand nombre de faits. En s'organisant, les mathématiques tendent vers une forme déductive plus parfaite. Mais ne peut-on en dire autant des autres sciences ?

Jules TANNERY.

PHYSIQUE GÉNÉRALE

Introduction.

Avant de définir la méthode en physique générale, il semblerait naturel de préciser l'objet de cette science et de la distinguer des sciences voisines. On ne peut procéder ainsi. Les classifications usuelles sont défectueuses et réclament de profondes modifications; or, la nécessité de cette revision nous est démontrée par l'étude même de la méthode. Ce serait donc un cercle que de limiter la physique générale avant d'avoir étudié sa méthode. Nous admettons provisoirement qu'elle s'occupe uniquement des matières qu'on est habitué à rencontrer dans les livres publiés sous ce nom, quitte à étendre ensuite son domaine conformément aux conclusions de la méthodologie.

La matière des sciences de la nature est évidemment le fait. Ni un fait, ni même une multitude de faits non reliés, ne constituent la science, pas plus que des pierres ne sont un édifice. Toutefois, la découverte d'un fait vraiment nouveau (la suite expliquera le sens de ce qualificatif), bien que ne supposant aucunes connaissances scientifiques chez l'inventeur, a une

importance considérable comme rendant possible l'existence ultérieure d'un chapitre plus ou moins étendu de la science.

Il n'existe évidemment pas de règles pour découvrir des faits nouveaux. Je ne sais qui conseillait de jouer de la clarinette aux plantes pour voir si elles réagissent. Evidemment, en essayant toute espèce de combinaisons de causes, il est possible qu'on amène un effet nouveau; mais on risque aussi de perdre son temps.

L'histoire nous apprend que la connaissance des faits vraiment nouveaux est due au hasard, c'est-à-dire à des gens qui ne les cherchaient pas et étaient très étonnés de ce que les circonstances fortuites mettaient devant leurs yeux.

J'imagine que le premier qui frotta de l'ambre et le vit attirer les corps légers, ne dut pas sa découverte à de profondes méditations sur le frottement et ses effets. Nous avons tout lieu de croire que si le médecin de la femme de Galvani ne lui avait pas ordonné un bouillon de cuisses de grenouille, et que si Galvani, non poussé « par un sentiment de délicate sollicitude pour sa femme » (ainsi parle un historien), ne les avait pas dépouillées lui-même, le *galvanisme* aurait fait un peu plus tard son apparition dans le monde. Honneur donc au bouillon de cuisses de grenouilles! Mais il paraît que c'est Mme Galvani qui vit les grenouilles se trémousser sous l'action des étincelles. Que dis-je! le fait était connu depuis 1756; il existait un mémoire sur le sujet présenté à l'Institut de Bologne où Galvani professait.

Tout cela n'enlève rien au mérite de Galvani; car la connaissance d'un fait, pour indispensable

qu'elle soit, ne constitue pas même un commencement de science. Il faut savoir tirer du fait son contenu; il faut savoir transformer le fait tout court en un fait scientifique.

La découverte de certains faits qui *semblent* nouveaux, n'est pas due au hasard. C'est qu'alors ils ne sont pas véritablement nouveaux. Par exemple, les considérations de symétrie ont révélé toute une série de phénomènes. Mais, précisément, s'il en est ainsi, c'est que les phénomènes étaient déjà contenus en puissance dans la symétrie; nous les ignorions comme le capitaliste qui ignore ce que contient son coffre-fort. Ouvrir ce coffre et compter sa fortune est une opération sans aucun rapport avec la découverte d'une mine d'or.

Induction et déduction.

Pour transformer un fait tout court en un fait scientifique, ou, ce qui revient au même, pour soumettre les faits à une loi, la physique, comme toutes les sciences de la nature, comme tous nos jugements, utilise le raisonnement par induction qui conclut du particulier au général, de la partie au tout. Prévoir que le soleil se lèvera demain, ou qu'injurier un passant conduit devant le juge de paix, c'est raisonner par induction. La certitude de la conclusion est différente dans les deux cas; le raisonnement est spécifiquement le même.

Ce n'est pas le lieu de chercher comment l'induction s'oppose au syllogisme, ni sur quels principes elle s'appuie, ni enfin sous quelles conditions ses résultats peuvent être acceptés pour

légitimes. Les deux premières questions sont de philosophie pure. Quant aux règles de l'induction, instinctivement appliquées de tout temps, elles ont été systématisées par Bacon et résumées dans ses tables de *présence*, d'*absence* et de *comparaison*. Mais leur application à la physique ne présente rien de particulier; nous n'insisterons donc pas.

Ce qui fait l'originalité de la méthode en physique est au contraire l'importance qu'y prend le raisonnement déductif. Comme elle est, de toutes les sciences de la nature, celle dont la méthode est fixée depuis le plus longtemps, alors que tant d'autres tâtonnent encore à la chercher, on peut la prendre comme type d'une science expérimentale achevée. En fait, toutes les autres s'efforcent de lui ressembler.

La physique cherche dans son domaine à reconstruire le monde, à le déduire par voie purement syllogistique d'un principe général une fois admis. Personne ne conteste que c'est là, que çà toujours été là le but avoué des physiciens. Descartes allait trop vite dans ses hypothèses; mais, en définitive, sa méthode, telle qu'elle ressort de ses traités et de sa correspondance, est la méthode des grands inventeurs, celle même de Newton et de Fresnel.

On dit souvent que l'induction est la méthode de découverte par excellence : une telle proposition ne signifie rien, tant qu'on n'a pas défini ce qu'on entend par découverte. Que l'induction nous permette de tirer de quelques faits isolés des lois générales, c'est évidemment son rôle, par définition même. Bien conduite, elle nous dévoile la cause des faits : ce n'est pas elle qui

nous permet d'en augmenter le nombre. En physique, les découvertes sont principalement dues à la méthode déductive : c'est ce qu'on énonce en parlant des *théories fécondes*. La physique ne sépare pas l'étude des *formes* de l'étude des *faits;* la déduction prévoit les faits que l'expérience confirme.

Aussi bien pour montrer comment la physique procède, racontons l'histoire d'une de ses branches et tirons, à mesure, de notre récit l'enseignement philosophique qu'il contient. Nous choisirons l'optique, dont le début scientifique remonte à une antiquité déjà lointaine.

Faits, principes et formes.

Euclide connaissait déjà (300 ans avant J.-C.) le *principe* sur lequel repose la catoptrique, c'est-à-dire la science des phénomènes dus à la réflexion. Il savait que la lumière se propage en ligne droite, comme un trait ou rayon, que dans la réflexion le rayon incident et le rayon réfléchi sont dans le même plan avec la normale à la surface, et font avec cette normale des angles égaux. Héron d'Alexandrie (1er siècle avant notre ère) savait même que la lumière en se réfléchissant suit le chemin le plus court.

Ainsi, il y a deux mille ans et plus que les anciens sont parvenus à discerner le fait simple de la réflexion, l'indépendance des rayons entre eux, et à énoncer le *principe fondamental*, c'est-à-dire la *proposition qui explique tous les phénomènes*.

Quel progrès restait-il donc à réaliser? comment la science des miroirs courbes, des miroirs

sphériques eux-mêmes, a-t-elle mis tant de siècles à s'achever?

Tout n'est pas fini quand on possède le principe; en un sens, tout commence... Il faut en déduire les conséquences; *il faut créer une forme*, c'est-à-dire tirer de la proposition prise comme postulat tout son contenu; il faut construire un *barême de sorites*. L'expérience ne doit plus intervenir que pour vérifier à mesure les divers *théorèmes* rencontrés.

Ce qui manquait à Euclide, à Héron d'Alexandrie, à Ptolémée pour parfaire une captoptrique, c'était tout uniment les connaissances mathématiques sans lesquelles il est impossible, une surface étant donnée, de savoir où vont après réflexion les rayons issus d'un point, de savoir par conséquent si le point admet une image, et, dans le cas contraire, quelles sont les aberrations.

Il semble que je rabaisse étrangement le rôle de l'expérience; le principe découvert, elle n'interviendrait plus que pour vérifier les déductions du géomètre : *dans l'espèce son rôle était par conséquent inutile*. Si étrange que cela paraisse, il en est bien ainsi; l'histoire de la catoptrique est profondément intéressante, parce que le *principe* y est d'une telle évidence qu'il s'est offert au physicien presque au début, alors que les mathématiques étaient dans l'enfance. Malgré tous ses efforts pendant des siècles, il n'a pu rien tirer directement de l'expérience, rien débrouiller de la complication des phénomènes. Il avait le principe, il ne savait pas s'en servir.

A mesure que les mathématiques progressaient, la *forme catoptrique* se développait paral-

lèlement. Le physicien vérifiait la valeur du principe par ses conséquences; *les faits se logeaient dans la forme.*

Disons tout de suite que ce développement historique est une exception unique et remarquable. Les mathématiques sont dans un tel état d'avancement, qu'aujourd'hui toute question ramenée à un principe se trouve immédiatement résolue, ou du moins dans un état satisfaisant. L'exemple de la catoptrique n'en est que plus caractéristique; il prouve l'impuissance de l'expérience qui n'est pas aidée par une *théorie;* il montre d'une manière frappante le rôle de la déduction dans la physique générale.

Découverte et expression des lois.

Nous l'avons dit, les choses ne se passent généralement pas comme pour la réflexion. Le principe n'est pas évident, il faut le découvrir : voyons comment on procède.

Bien avant Ptolémée (70-147 de notre ère), on connaissait des phénomènes où intervient la *réfraction.* On savait qu'un aviron plongé dans l'eau paraît brisé au point où il traverse la surface; on utilisait les lentilles à allumer du feu; on avait observé le pouvoir grossissant d'un vase plein de liquide; tout le monde a entendu parler du monocle de Néron. Mais c'est à Ptolémée que revient l'honneur d'avoir distingué le fait essentiel, d'avoir cherché la loi de la réfraction.

Il procédait exactement comme le conseillent aujourd'hui les traités élémentaires de manipulations. Ses instruments étaient assez rudimentaires, il ne mesurait les angles qu'à un demi-

degré près. Voici la table qu'on trouve dans son *Optique*. J'y ajoute deux colonnes renfermant, d'une part le rapport des angles d'incidence *i* et de réfraction *r*, d'autre part le rapport de leurs sinus.

	Passage de l'air dans l'eau.			Passage de l'air dans le verre		
Angles i.	Angles r.	i : r.	sin i : sin r	Angles r.	i : r.	sin i : sin r
0°	0°	»	»	0°	»	»
10	8	1,25	1,25	7	1,43	1,43
20	15 1/2	1,20	1,28	13 1/2	1,48	1,46
30	22 1/2	1,33	1,31	20 1/2	1,46	1,43
40	28	1,43	1,37	25	1,60	1,52
50	35	1,43	1,34	30	1,67	1,53
60	40 1/2	1,48	1,33	34 1/2	1,74	1,53
70	45	1,55	1,33	38 1/2	1,82	1,51
80	50	1,60	1,29	42	1,90	1,47
		Moyenne	1,31		Moyenne	1,48

Les deux premières colonnes du tableau résument l'expérience. Si elle a été bien conduite, si les règles de l'induction ont été convenablement appliquées, si, en particulier, on a suffisamment tenu compte des circonstances qui influent sur les résultats (dans l'espèce, la température), le tableau est adéquat aux faits. Bien entendu, il l'est avec une approximation plus ou moins grande. Nous verrons tout à l'heure que, malgré ses défauts, l'expérience de Ptolémée était largement suffisante pour mettre le principe en évidence.

Le tableau de nombres obtenu, il faut le représenter par une *fonction mathématique;* il faut

chercher parmi les formes abstraites étudiées par les géomètres celle qui convient le mieux. Ces formes sont aujourd'hui connues en très grand nombre : on en a comme dévidé à l'avance les propriétés suivant un sorite par nature indéfini, qui pratiquement peut remplir des volumes entiers. On en a calculé les valeurs numériques dans des tables parfois énormes. Nous en rencontrerons quelques-unes au cours de ce travail, qui fixeront les idées du lecteur.

La *forme*[1] qui se présente le plus naturellement exprime la proportionnalité entre l'angle d'incidence i et l'angle de réfraction r :

$$i = nr,$$

Elle a le mérite de redonner la loi de réflexion comme cas particulier de la loi de réfraction ; il suffit d'écrire que la constante n, à laquelle nous donnerons le nom d'indice de réfraction, est égale à l'unité ; plus correctement, à -1, exprimant par le signe $-$ que dans le cas de la réflexion la lumière continue son chemin, non pas dans le prolongement du rayon incident, mais dans la direction symétrique de ce prolongement par rapport à la surface réfléchissante.

Essayons cette forme simple ; effectuons les quotients $i : r$ (ils sont inscrits dans les 3e et 6e colonnes du tableau), *nous n'obtenons pas des nombres constants*. Qu'il s'agisse du passage de l'air dans l'eau ou du passage de l'air dans le verre, le quotient $i : r$ croît *systématiquement*

1. J'emploie systématiquement le mot *forme* pour désigner le sorite complet supposé déroulé, ou le postulat qui le contient en puissance.

quand l'angle i croît de 0 à 90°, à des variations non systématiques près sur lesquelles nous allons revenir. Toutefois, et c'est une remarque importante, l'inconstance du quotient $i : r$ n'est grande que pour des angles notables.

Il résulte de la croissance *systématique* du quotient $i : r$, que les différences entre les nombres expérimentaux et les nombres calculés par la formule ne sont pas dues à l'incorrection des expériences. Cette incorrection se traduit par les variations *non systématiques* du quotient; par exemple, il commence par décroître, ailleurs il ne croît pas régulièrement.

Quoi qu'il en soit, nous arrivons à cette conclusion que la forme simple $i = nr$, peut servir pour de petits angles, mais qu'elle est insuffisante à représenter l'expérience pour des angles notables.

Ptolémée chercha la loi véritable, mais ne la trouva pas. Son commentateur, Alhazen (1050), pas plus que Vitellon (1250), qui refit des expériences, n'y parvinrent. Snellius (1620) enfin la découvrit. Et pourtant rien ne semblait plus facile. Ptolémée possédait non seulement des tables de *cordes*, mais aussi des tables de *sinus* (le sinus d'un arc est la moitié de la corde de l'arc double). Il savait que les sinus des petits angles sont proportionnels aux angles, que, par conséquent, la forme :

$$\sin i = n \sin r,$$

redonne la forme $i = nr$, quand les angles sont petits. Habitué à manier les lignes tracées dans un cercle (ce que nous appelons les *fonctions*

circulaires), il semble que son attention devait tout naturellement se porter vers elles. Toutes ces vraisemblances ne font rien contre l'histoire : Ptolémée, Képler, quinze cents ans plus tard, eurent besoin de cette loi pour étudier les réfractions atmosphériques et ne surent pas la découvrir. C'était pourtant fort aisé : l'œuf de Colomb.

Prenons le rapport des sinus des angles; nous constatons des variations non systématiques du résultat dues à l'incorrection des expériences, mais en moyenne une constance remarquable.

Insistons sur les avantages de posséder la forme vraie, à la place du tableau de nombres qu'elle résume.

Cette substitution permet deux opérations importantes: l'*interpolation* et l'*extrapolation*.

La fonction que nous avons substituée aux nombres, fournit des valeurs de l'angle de réfraction non seulement pour les angles d'incidence sur lesquels nous avons opéré, mais aussi pour tous les angles intermédiaires. Par exemple, utilisons pour l'eau la relation :

$$\sin i = 1{,}31 \sin r;$$

nous trouvons pour $i = 15°$, $r = 11° 1/2$. Dire que cette valeur ainsi calculée serait la valeur trouvée directement, aux erreurs d'expérience près, s'appelle *interpoler*.

Le tableau de Ptolémée est muet sur ce qui se passe pour des angles voisins de 90°; l'expérience devient en effet difficile. La forme supplée à l'expérience. Elle nous apprend que pour $i = 90°$ ($\sin i = 1$) l'angle de réfraction est 49° 3/4.

Dire que la valeur ainsi calculée serait la valeur trouvée si l'expérience était possible, s'appelle *extrapoler*.

Mais ce ne sont là que des avantages médiocres; la vraie supériorité d'une formule exacte sur un tableau de nombres, c'est qu'elle permet le développement d'une forme complète par la méthode déductive; c'est qu'elle suggère les expériences, tout en satisfaisant le désir suprême du savant, reconstruire le monde par le raisonnement syllogistique.

Principes approchés.

L'optique aurait pu se développer largement en s'appuyant sur la loi de première approximation $i = nr$, si les mathématiques avaient été assez avancées pour établir la *forme* correspondante. Dans bien des cas, en particulier dans l'étude des lentilles et des instruments d'optique, les angles d'incidence sont petits, inférieurs à 10°; la loi de proportionnalité est largement suffisante. Elle contient les travaux de l'illustre Gauss sur les systèmes optiques centrés, c'est-à-dire beaucoup plus qu'on en demande encore aujourd'hui pour l'agrégation de physique.

Mais il s'est produit pour les lentilles ce qui est arrivé pour les miroirs : la forme n'était pas connue à l'avance, il fallait la créer. Képler s'y essaya, Cavalieri (1647) avança la théorie; il faut attendre jusqu'à Barrow (1669) pour avoir la théorie complète des lentilles isolées, jusqu'à Gauss pour avoir celle des systèmes de lentilles.

De cette histoire, il faut tirer un enseignement général. Un principe approché ne doit pas être

méprisé parce qu'il ne contient qu'une partie de la réalité. L'expérience prouve que près de l'incidence normale il y a proportionnalité entre les angles d'incidence et de réfraction; peu nous importe la loi exacte quand l'incidence est voisine d'être normale; la loi approchée suffit.

Expériences cruciales.

Une loi devant servir de principe est rarement démontrable par l'expérience directe. Voici la raison de ce fait paradoxal. Quand une proposition joue le rôle de postulat pour une forme générale, en d'autres termes quand elle *explique* un très grand nombre de phénomènes, il faut naturellement qu'elle soit dépouillée de tout ce qui ne peut convenir qu'à quelques-uns d'entre eux. A ce degré de généralité, d'*irréalité*, son énoncé n'est plus directement traduisible en expérience, du moins en expérience précise. La loi de Coulomb consiste à dire que les masses *ponctiformes* électriques ou magnétiques agissent en raison inverse du carré de leur distance et proportionnellement à leurs masses : il est clair qu'une telle proposition ne peut être traduite fidèlement par une expérience. On ne peut isoler les masses magnétiques, on ne peut faire agir un *point* électriquement chargé sur un autre *point*. Nous verrons de même qu'on ne peut isoler un rayon.

Le procédé auquel les physiciens ont recours est le suivant. Ils développent une *forme* logique admettant la loi en question comme postulat; ils cherchent dans le sorite ainsi dévidé quelque proposition directement vérifiable. Plus la pro-

position vérifiée est éloignée du point de départ, plus ils ont confiance dans la valeur du postulat.

Reprenons la loi de la réfraction approchée : $i = nr$, et la loi exacte : $\sin i = n \sin r$; cherchons si les *conséquences* de ces lois sont conformes à l'expérience.

Nous rencontrons d'abord un phénomène curieux connu sous le nom de réflexion totale : un rayon propagé dans l'eau d'indice n, et tombant sur la surface de séparation eau-air sous une incidence r assez grande, est réfléchi en totalité, tandis que, tombant sous une incidence plus petite qu'une certaine limite, il est partiellement réfléchi, partiellement réfracté.

Le phénomène *s'explique* dans les deux hypothèses. En effet, par nature, dans la réfraction d'un rayon propagé dans l'air et réfracté dans l'eau, l'angle i dans l'air ne peut varier qu'entre 0 et 90°. D'après la formule $i = nr$, l'angle r ne peut varier qu'entre 0° et $(90 : n)$ degrés. Si nous admettons que les directions de propagation ne sont pas modifiées par le changement de sens de la lumière (principe du retour des rayons), nous concluons qu'à un rayon incident dans l'eau faisant avec la normale un angle supérieur à $(90 : n)$ degrés, ne correspond aucun rayon réfracté dans l'air : il y a donc alors réflexion totale. Conséquemment, cette expérience n'est pas *cruciale*.

Autre expérience. On trouve qu'un rayon traversant un prisme subit une déviation qui est minima pour un certain azimut du prisme. Soit A l'angle du prisme; il est facile de voir que la loi $i = nr$, conduit à une déviation $D = (n - 1)A$, indépendante de l'incidence et,

par conséquent, de l'azimut du prisme. Corrélativement, une expérience quantitative est inutile pour éliminer cette loi : l'observation la plus grossière prouvant l'existence d'un minimum, nous ne pouvons certes pas conclure *ipso facto* la correction de la loi $\sin i = n \sin r$, qui l'explique; mais nous pouvons rejeter la loi $i = nr$, comme assurément insuffisante.

Cette expérience est donc *cruciale* contre le postulat approché; elle augmente la probabilité du second postulat certainement plus correct, puisqu'il se confond avec le premier pour les petits angles, explique aussi bien que lui la réflexion totale, donne une valeur admissible pour l'incidence rasante et contient le phénomène du minimum de déviation dans les prismes.

Troisième expérience en faveur du rapport constant des sinus.

Descartes en possession de cette loi découvre la théorie complète de l'arc-en-ciel. Les rayons quasiment parallèles émis par le soleil tombent sur la goutte sphérique de pluie en faisant avec la normale à la surface un angle i fonction de la distance de leur prolongement au centre de la goutte. Ils se réfléchissent à l'intérieur, se réfractent une seconde fois et émergent inclinés sur leur direction primitive d'un angle $4r - 2i$.

Il y a déjà dans cet énoncé quelque chose de nouveau ; l'application de la loi à une surface de très petit rayon de courbure. On avait admis jusqu'alors qu'elle subsistait pour une surface courbe, qu'il suffisait de remplacer l'élément de surface par son plan tangent : la théorie de l'arc-en-ciel allait prouver par sa réussite la validité de cette hypothèse.

Parmi tous les rayons émergents, pourquoi certains excitent-ils seuls une sensation de lumière dans l'œil du spectateur? Descartes répond que les rayons ne sont assez *serrés* que pour le minimum de déviation. Connaissant l'indice de l'eau par rapport à l'air, il calcule ce minimum et trouve 41° 30′ pour l'angle sous lequel nous devons apercevoir le premier arc-en-ciel : ce qui est conforme à l'observation.

Il va plus loin et explique par le même procédé l'existence du second arc-en-ciel ; il trouve 52° pour l'angle sous lequel il nous apparaît.

La réussite d'une théorie déjà si complexe est une preuve excellente de l'exactitude du postulat, preuve plus convaincante que ne l'auraient été des mesures précises, d'ailleurs impossibles pour de multiples raisons au temps de Descartes.

Généralisation d'une forme.

Et pourtant les raisonnements de Descartes portaient en eux-mêmes la preuve de leur insuffisance. Ils expliquent bien l'existence de deux arcs lumineux dans les nuages pluvieux opposés au soleil, ils n'expliquent pas la coloration de ces arcs qui en est cependant la caractéristique vulgaire.

Quelque chose manquait au postulat ; c'est un des beaux titres de gloire de Newton de l'avoir trouvé. Toute lumière, dit-il, se compose d'une infinité de lumières homogènes qui sont séparément caractérisées par leurs réfrangibilités et que le prisme sépare ou disperse. Ces lumières mélangées dans certaines proportions donnent du blanc. Une fois séparées, elles ne peuvent plus

être *dispersées* ni par réflexion ni par réfraction : c'est en cela qu'elles sont simples ou homogènes.

En langage mathématique voici comment se traduit la découverte de Newton : la constante n de la formule $\sin i = n \sin r$, ne caractérise qu'une lumière simple et un système de deux corps en contact. Si nous changeons de lumière, nous pouvons encore appliquer la forme déjà développée, mais en modifiant la valeur de la constante qui entre dans la loi servant de postulat.

Développement d'une forme.

Avec Newton, l'optique géométrique est en possession de son postulat le plus général, il n'y a plus qu'à la développer *par voie syllogistique*. C'est à quoi se sont occupés et s'occupent encore de nombreux savants.

Depuis deux cents ans les progrès de cette branche de la physique sont parallèles aux progrès des mathématiques.

Gergonne, Dupin, Sturm, font la théorie des normales à une surface : il en résulte un avancement de l'optique géométrique. Les propriétés des surfaces d'onde, des caustiques, des focales, l'étude des aberrations et de leurs corrections, les applications aux instruments d'optique, aux objectifs photographiques et aux microscopes,..... dans toutes ces questions l'expérience se borne à vérifier la théorie ; autant dire qu'elle ne la précède jamais.

De temps en temps l'expérience suggère bien de dévider le sorite particulièrement dans un sens,

de pousser la déduction spécialement suivant une voie ; mais elle s'arrête bientôt impuissante, réclamant un *perfectionnement de la théorie*, ce qui veut dire un développement de cette géométrie spéciale que nous désignons sous le nom de forme.

Que le lecteur ne s'étonne pas : pour faciliter mon exposé j'ai précisément choisi le cas d'une forme particulièrement ample ayant un postulat particulièrement sûr. Le rôle de l'expérience se trouve ainsi réduit au minimum, presque à rien. La physique prend immédiatement l'allure d'une géométrie. Dans le cas général, la réussite n'est pas aussi parfaite. La forme se développe à partir d'un postulat incertain ; l'expérience intervient pour montrer l'erreur commise, faciliter un choix plus judicieux, et l'on recommence sur nouveaux frais. On construit un grand nombre de formes avant de trouver celle dans laquelle les faits veulent bien se loger, tant bien que mal et provisoirement.

Théories et explications.

On lit dans le traité des *Maxima et minima* de Fermat : « Le savant Descartes a proposé pour les réfractions une loi qui est, comme on dit, conforme à l'expérience. Mais pour la démontrer il a dû s'appuyer sur un postulat absolument indispensable à ses raisonnements, à savoir que le mouvement de la lumière se fait plus facilement et plus vite dans les milieux denses que dans les milieux rares. Or ce postulat paraît contraire au bon sens.

En cherchant à partir du principe opposé,

nous sommes retombés sur la loi de Descartes. Notre démonstration s'appuie sur ce postulat que la nature opère par les voies les plus aisées et non pas toujours par les lignes les plus courtes. »

On voit que Fermat et Descartes n'étaient pas d'accord sur l'*explication* des phénomènes.

Qu'est-ce donc qu'expliquer ?

C'est tout uniment faire rentrer un fait dans une forme. Le fait est expliqué lorsqu'il apparaît identique à l'un des phénomènes qu'engendre un de ces sorites indéfinis que nous appelons théories ou formes. L'explication est d'autant meilleure que la forme contient plus de faits : il est convenu qu'elle ne doit être logiquement contradictoire à aucun fait connu. Nous préciserons d'ailleurs plus loin ce qu'il faut entendre par là.

Une forme a comme germe un postulat. Toute la question est de savoir si ce postulat ne rentre pas dans un postulat plus général. Si l'opération est possible, du coup la forme ou théorie se trouve perfectionnée. Descartes et Fermat étaient d'accord pour admettre comme postulat provisoire la loi :

$$\sin i = n \sin r.$$

Mais ils prétendaient qu'on pouvait remonter plus haut. Il est clair que pour le développement de l'optique proprement géométrique, cela n'avait absolument aucun intérêt, pas plus que la *démonstration* du postulat d'Euclide, c'est-à-dire son extraction d'une proposition plus simple et plus évidente, n'a d'intérêt pour le développement de la géométrie Euclidienne. Que l'on ramène la loi de Descartes ou non à une proposition plus gé-

nérale, ne change rien de ce qui se trouve *au-dessous* d'elle dans le sorite.

Ce n'est pas à dire qu'envisagée d'autres points de vue l'opération n'ait pas un intérêt primordial.

Fermat démontre dans un cas particulier, et nous savons d'une manière absolument générale, que la loi de Descartes est logiquement identique au principe *dit de la moindre action*. Il n'est donc pas douteux qu'on pourra toujours en *optique géométrique* remplacer un postulat par l'autre. Nous verrons plus loin qu'ils ne sont cependant pas équivalents pour l'explication de tous les phénomènes connus.

Ceci posé il y a dans la manière de s'exprimer de Fermat quelque chose de *métaphysique* qui répugne profondément à notre *scepticisme* moderne. Quand il déclare qu' « on doit admettre que la nature qui mène le plus vite possible ses opérations, visera d'elle-même tel ou tel point », nous voici tout près de lui crier : « Qui te l'a dit ? ».

Nous n'en sommes plus dans nos *explications* à chercher comment les choses se passent effectivement. Nous savons que *la science est une transposition des faits* ; nous avons des phénomènes non pas une image, mais une *anamorphose*. S'il arrive que deux sorites ayant pour origine des postulats différents, se rencontrent et se confondent, ils seront pour nous parfaitement équivalents *tant que les faits qui précèdent leur jonction nous sont inabordables*.

Que le lecteur comprenne bien ici le sens de l'expression *scepticisme en matière de théorie*. Il ne s'agit pas de douter de la réalité des phéno-

mènes ; c'est là une question en dehors de nos préoccupations. Il ne s'agit même pas en un certain sens de douter de la réalité de nos explications. Il s'agit seulement de comprendre la nature de ces explications.

Par exemple, nous avons découvert par un procédé quelconque qu'une figure invisible possède un centre de symétrie, trois plans de symétrie rectangulaires entre eux et trois axes de symétrie binaire. Là-dessus le savant A prétend que c'est un ellipsoïde ; le savant B qui a un faible pour les polyèdres, déclare que c'est un prisme droit à base rectangle ; le savant C dont chacun connaît l'esprit pointu, opine pour une pyramide. Nous devons les laisser se chamailler entre eux sans nous mêler de ce débat ridicule, à moins que B ne démontre l'existence de faces planes ; dès lors il aura raison, à moins que ce ne soit l'illustre C, à moins cependant qu'outre les faces planes d'existence démontrée, il y ait aussi des faces courbes, à moins encore qu'il ne s'agisse d'un prisme ou d'une pyramide à base losange.

Le problème est insoluble ; ayons le bon sens de dire que le solide possède un centre de symétrie, trois plans de symétrie, trois axes de symétrie binaire, et n'ajoutons rien. Ou plutôt ajoutons ce qui nous plaît et qui n'est pas contradictoire, mais permettons au voisin d'en faire autant.

Démonstration des principes.

Les principes ne se démontrent pas ; il est invraisemblable et triste qu'on soit forcé d'énoncer de pareils truismes. Mais que le lecteur ouvre certaines thermodynamiques ; il verra s'étaler les

titres : « Démonstration du principe de l'équivalence, démonstration du principe de Carnot ». Que dis-je ! un illustre savant n'a-t-il pas prétendu donner une démonstration du principe du travail virtuel.

Qu'on réfléchisse un instant et l'on verra l'absurdité d'un tel projet, ou si l'on veut d'un tel langage.

On appelle *principe*, *postulat*, *hypothèse* (ces trois termes sont absolument équivalents) ce qu'on prend pour point de départ du sorite, pour origine de la forme. Démontrer *théoriquement* un postulat, c'est déduire ce postulat d'une proposition plus évidente ; qui ne voit la contradiction dans les termes. *On ne démontre pas un postulat*, *on change de postulat*.

Quant à démontrer *expérimentalement* un principe, c'est une entreprise dont l'absurdité saute aux yeux. On peut démontrer que certains faits, tous les faits connus si l'on veut, rentrent dans une forme et par conséquent sont contenus dans le principe générateur de cette forme. On ne peut évidemment pas démontrer que les faits qu'on ignore, y rentreront aussi.

Le procès est toujours pendant ; la valeur d'un principe est toujours incertaine. Un principe est à la merci d'une découverte.

Dans quelles limites : c'est ce que la suite de cette histoire nous apprendra.

Des révolutions en matière de physique.

Pendant que l'optique géométrique se développait lentement au cours du XVIIe et du XVIIIe siècle, des faits nouveaux apparaissaient qui restaient

en dehors de son domaine ou même qui contredisaient formellement l'hypothèse fondamentale de l'existence des rayons et de la propagation rectiligne. Les physiciens découvraient successivement la diffraction (1665), les couleurs des lames minces (1665), la double réfraction (1669).

Dès 1678, Huyghens proposait la théorie des ondulations. Ce n'est pas le lieu de raconter comment les travaux d'Young, de Fresnel, d'Arago, mirent cette théorie hors de doute après l'avoir précisée, malgré les efforts passionnés des partisans de Newton qui essayaient de maintenir la réalité du rayon.

Il semble bien que *le rayon disparaissant*, l'optique géométrique allait s'effondrer : elle ne s'en porta ni mieux ni plus mal. Histoire édifiante à méditer par les demi-savants qui sont toujours à crier *à la révolution*, pour peu qu'une expérience semble contredire leur courte science.

On n'évinça pas l'optique géométrique ; on limita son domaine. Il fut entendu que cette *forme* était insuffisante pour contenir tous les faits, qu'il était par conséquent nécessaire d'en utiliser une plus vaste. Mais, et c'est là le point capital, il ne vint à l'esprit de personne de nier qu'une des conditions à satisfaire par cette nouvelle forme, serait de contenir la première comme cas particulier.

Le premier souci d'Huyghens, comme de Fresnel, est de retrouver le postulat de l'optique géométrique comme conséquence de la théorie des ondulations. Assurément, le rayon n'existe pas *en général*, mais tout se passe comme s'il existait *quand certaines conditions sont satisfaites*,

ce qui légitime immédiatement le sorite déjà déroulé.

Quand une science a fixé sa méthode, les révolutions sont impossibles ; il y a seulement place pour des généralisations. *La science est une transposition des faits exacte à un tant pour cent près connu.* Une forme démontrée satisfaisante avec une approximation donnée pour une série de faits donnés, le restera indéfiniment à cette approximation et pour ces faits, quelles que soient les découvertes ultérieures. Ce n'est que dans ces limites que les principes sont à la merci de l'avenir ; tel est le fondement de la stabilité de la science et la raison de notre confiance en elle.

Assurément, il faut quelquefois changer le langage ; mais qu'importe. Aussi bien, et c'est une preuve instinctive de bon sens, les physiciens ne le changent pas. Ils conservent côte à côte les formes les plus dissemblables en apparence, quand le fond est le même, et quand la diversité de ces formes permet des démonstrations plus aisées, des calculs plus faciles. L'optique nous fournirait cent exemples s'il était nécessaire de faire la preuve.

Assurément pour qu'une théorie subsiste, il faut qu'elle représente un certain ordre de phénomènes. La théorie de l'émission est morte parce qu'en vérité elle n'a jamais vécu. A aucun instant il n'a été possible d'extraire de l'hypothèse de petites balles lancées un sorite régulier, une chaîne correcte de propositions qui puisse sans contradiction représenter les phénomènes de la diffraction et des lames minces. Sinon on aurait conservé la théorie de l'émission tout comme l'optique géométrique, en disant : sous certaines

conditions tout se passe comme si la cause de la lumière était de petites balles lancées.

On comprend maintenant l'intérêt que présente souvent un changement de principe ; il est parfois de la plus haute importance de remonter plus avant que le principe provisoire (tous les principes le sont plus ou moins) dans la chaîne du raisonnement déductif. Fermat n'a pas perdu son temps ; car le principe de la moindre action, plus général que la loi de Descartes, est compatible dans tous les cas avec la théorie des ondulations tandis que la loi de Descartes ne l'est pas. Par exemple, Huyghens en fit sortir la théorie de la double réfraction généralisée plus tard par Fresnel.

Réduction du nombre des formes.

L'ambition du physicien est de reconstruire le monde par voie syllogistique à partir d'un principe assez général. Son contentement est donc extrême quand il peut démontrer l'identité foncière de deux groupes de phénomènes. Toutes les formes étudiées pour représenter le premier, servent *de plano* pour le second, d'où un avancement plus rapide avec une moindre fatigue.

A la fin du XVIIIe siècle, on découvrit que le spectre solaire, au-delà des radiations visibles rouges, agit encore sur le thermomètre. L'extrémité opposée du spectre, au-delà du violet, n'a pas d'action calorifique, mais jouit de propriétés chimiques et détermine des combinaisons. Les physiciens conclurent d'abord que la lumière solaire est un mélange de trois sortes de rayons, indépendants les uns des autres, que l'on peut

appeler calorifiques, colorifiques et chimiques, d'après les effets qu'ils produisent.

Cette hypothèse compliquée ne les satisfit pas longtemps. Ils cherchèrent et parvinrent à prouver que les trois qualités ne peuvent pas se manifester l'une sans l'autre, qu'un rayon d'une réfrangibilité donnée les possède toutes trois toujours dans un même rapport, que tous les phénomènes (polarisation, franges, double réfraction...,) qu'on peut obtenir avec la qualité lumière, sont aussi réalisables avec la qualité chaleur ou la qualité action chimique. De cette démonstration résulte qu'il n'existe qu'une seule espèce de radiations définies par leurs indices de réfraction dans un corps bien déterminé, ou mieux par leurs longueurs d'onde.

Du coup disparaissait la *chaleur rayonnante* comme espèce indépendante de radiations ; c'est de la lumière invisible pour nos yeux, mais qui, ainsi que le spectre chimique, est peut-être visible pour des yeux autrement constitués que les nôtres, ceux des animaux par exemple.

Tout à fait analogue par la méthode, infiniment plus grandiose et par la difficulté et par les conséquences, a été l'assimilation des ébranlements électro-magnétiques aux ébranlements lumineux, grâce aux efforts des illustres savants Maxwell et Hertz.

Nous ne pouvons certes pas ici raconter le détail de cette histoire ; nous en tirerons seulement quelques enseignements généraux sur la méthode, sur la nature des explications et des théories en physique.

Dire qu'on admet la théorie des ondulations est dire quelque chose d'assez vague. Evidemment

l'existence d'ondes et d'ondes transversales limite le choix des postulats, mais d'une manière assez indécise pour permettre encore les hypothèses les plus variées. De fait, le XIXe siècle vit éclore et se développer une bonne douzaine de formes, fournissant en définitive exactement les mêmes résultats, par conséquent indiscutables. Dans l'enseignement on choisissait l'une de préférence à l'autre, mais toujours pour des raisons de sentiment, à moins que ce ne fût par routine.

Ces théories formaient principalement trois groupes, suivant la position de la vibration présumée de l'éther par rapport à la direction de propagation et à un plan défini par les expériences de réflexion, le plan de polarisation. Dire les discussions homériques, les batailles pas toujours courtoises qui se livrèrent autour de ces théories, est un sujet trop vaste et trop insignifiant pour être abordé. Nous avons donné plus haut un échantillon de ces sortes de polémiques.

La théorie électromagnétique de la lumière triomphe, et l'on s'aperçoit avec soulagement qu'elle suppose la coexistence de trois sortes de vibrations correspondant à la force magnétique, à la force électrique et à ce que Maxwell appelle le déplacement. Par enchantement les trois groupes de théories sont conciliées : chacune d'elles ne s'occupait que d'une partie du problème; elles rentraient toutes dans une forme plus générale.

Les physiciens se trouvèrent un peu sots de ces flots d'encre inutilement répandus ; ils jurèrent qu'on ne les y reprendrait pas. Mais on n'empêchera jamais les inventeurs d'imaginer qu'ils ont la vérité, la seule, hors de laquelle il n'y a point de salut.

Physique mathématique

Il n'y a pas deux espèces de physiques générales, l'une expérimentale, l'autre mathématique : il y a deux sortes d'occupations pour les physiciens. Les uns étudient les formes, dévident des sorites; les autres vérifient si les faits se logent confortablement dans les formes.

Pour la commodité du langage, on dit que les premiers font de la physique mathématique, les seconds de la physique expérimentale : la physique générale est l'aboutissement de ces deux espèces d'efforts.

Généralement, les deux occupations, impliquant des qualités différentes, conviennent à des individus différents; mais on a d'illustres exemples de physiciens réussissant aussi bien dans l'une et dans l'autre. Newton, Gauss, Kirchhoff, Helmholtz, L. Kelvin viennent tout naturellement à l'esprit. Malheureusement, il semble que la division du travail s'imposera de plus en plus, tant la science se complique.

La physique n'est donc pas mathématique, parce qu'on y trouve des algorithmes algébriques; toute expérience devant, en définitive, entrer dans une forme, toute forme se développant naturellement sous les symboles mathématiques, toute physique est mathématique.

Ceci compris, une distinction entre physique mathématique et mathématiques pures est difficile à préciser. Elles ne diffèrent que par la nature de la proposition qu'elles développent. Leurs méthodes sont les mêmes, leurs résultats de même ordre.

Aussi bien il serait absurde de chicaner le créateur de formes sur la valeur et la nature de son postulat : alors même que celui-ci ne correspond à rien de réel, la forme qui en dérive n'en reste pas moins intéressante et utile comme complétant le barême des formes ; rien ne dit que dans un avenir plus ou moins éloigné, en ne lui trouve une application, c'est-à-dire des faits qui acceptent de s'y loger. C'est en ce sens qu'il n'y a pas de théories *fausses ;* il y a des théories *vides.*

Limites de la physique générale.

A la lumière des pages précédentes nous pouvons aborder le problème, écarté au début de ce travail, des limites de la Physique générale. Le lecteur voudra bien ne pas s'étonner de nos conclusions ; le besoin pratique d'un groupement des sciences physico-mathématiques très différent du groupement traditionnel se fait sentir avec une acuité qui nécessite une solution prochaine.

On classe généralement parmi les sciences mathématiques, la mécanique rationnelle et l'astronomie. Définissons ces deux sciences.

La mécanique rationnelle est une forme dont le postulat est le principe du travail virtuel pour la statique, généralisé par l'introduction des forces dites d'inertie pour la dynamique. Le principe admis, la mécanique rationnelle se développe régulièrement par voie déductive. Peu importe d'ailleurs que l'on mette ostensiblement au début un autre principe ; les systèmes de syllogismes se confondent bientôt.

La mécanique rationnelle est donc une science

mathématique exactement au même titre que tout autre forme ; elle n'est pas plus proprement mathématique qu'une théorie quelconque de physique. Dire que le postulat de la mécanique s'impose avec une évidence particulière et la met ainsi hors de pair, c'était bon il y a cent-cinquante ans, mais cela nous fait sourire. Dans la classification des formes, peu importe la valeur *pratique* du postulat ; elle n'est pas en dicussion ou plutôt parler de sa valeur ne signifie rien. Il s'agit d'en tirer les conséquences incluses ; bien raisonner est tout ce qu'on demande au créateur d'une forme.

De la mécanique rationnelle se détache comme cas particulier une forme qui a pris un développement considérable, la mécanique céleste. On y suppose que les forces sont centrales et en raison inverse du carré des distances.

Envisageons maintenant les faits qui rentrent dans ces formes : nous voici en plein dans la physique. Ai-je besoin de faire observer que tous les phénomènes satisfont aux postulats généraux de la mécanique rationnelle, que, l'électricité et le magnétisme s'occupant d'agents exerçant des actions en raison inverse du carré des distances, une infinité de propositions de la mécanique céleste s'appliquent sans y rien changer à ces branches de la physique.

Les frontières entre la mécanique et la physique sont si impossibles à tracer qu'on trouve les mêmes théories, et par conséquent les mêmes expériences, dans les traités de physique et dans les traités de mécanique. Par exemple la théorie de l'élasticité, l'hydrostatique, l'hydrodynamique, et toutes les formes qu'on rencontre en acoustique,

sont dans ce cas. On dira que le mécanicien insiste sur le développement de la forme, le physicien sur la comparaison des faits avec la forme. Envisagée du point de vue logique, une telle distinction n'a pas de sens ; pratiquement elle est déplorable pour l'avancement des deux sciences.

Quand on retire de l'astronomie la mécanique céleste, il reste de l'optique, c'est-à-dire de la physique.

Transportons-nous aux confins opposés à la physique. Sur les affiches des Facultés, on trouve la minéralogie après la chimie ; c'est l'habitude en effet de la classer entre les sciences physiques et les sciences naturelles.

A la vérité la minéralogie telle qu'on l'enseigne, est un amas complexe de notions disparates ; il faut la robuste confiance des philosophes pour la mettre *en bloc* en un endroit de leurs classifications des sciences. Mais si nous nous résignons, comme l'exige le bon sens, à ne plus la considérer comme un bloc, nous y distinguerons immédiatement la cristallographie physique qui est une *forme* faisant partie d'une *forme* plus générale, la théorie des symétries. Or tous les phénomènes par lesquels se traduit la symétrie, ont toujours été considérés comme faisant partie de la physique générale.

Une fois la cristallographie enlevée, il reste dans la minéralogie de la chimie. Je néglige la partie géographique du sujet qui rentre dans la géologie, c'est-à-dire dans les sciences proprement naturelles.

Des sciences mathématiques proprement dites aux sciences naturelles, nous ne trouvons place que pour la physique et pour la chimie. Quelle

distinction établir entre ces deux sciences ? Il n'y en a qu'une possible : la chimie étudie des espèces *discontinues* et les moyens de passer d'une espèce à l'autre. Je n'insiste pas : le lecteur trouvera dans le travail de M. Job une complète démonstration du rôle de la chimie.

Toute une partie de la chimie s'occupe du *continu* à propos des phénomènes généraux de dissociation (solutions, densités de vapeur,....). Il est si parfaitement impossible de la distinguer de la physique qu'on l'appelle officiellement physico-chimie. La théorie des ions qui est une *forme* développée par les physiciens, est remplie de faits trouvés par les chimistes.

Sciences appliquées.

La physique générale a comme prolongements les diverses branches de la physique appliquée (électricité industrielle, machines à vapeur et à explosion, résistance des matériaux, ...) dont les méthodes méritent de retenir un instant notre attention.

Une expérience se traduit par un tableau de nombres : nous avons montré quel intérêt présente la substitution d'une formule à ce tableau ; nous avons raconté que des siècles de tâtonnements peuvent précéder la découverte de la formule véritable, formule qui sert de postulat à une théorie ou qui est l'expression d'un des résultats de cette théorie.

La science appliquée ne peut pas attendre ; sans se préoccuper de trouver une formule ayant une valeur *théorique*, elle en prend une de calcul facile : c'est ce qu'on appelle une formule *empi-*

rique. Il arrive même qu'elle préfère à la formule théorique connue mais compliquée, une formule empirique d'allure plus simple. Par exemple dans la théorie de la machine à vapeur, on représente les adiabatiques de la vapeur d'eau dans le plan pression-volume par des hyperboles, alors qu'on sait fort bien que cette courbe ne satisfait pas aux desiderata de la théorie.

Ce que nous venons de dire des tableaux de nombres s'applique aussi bien à l'*explication*, à la *coordination* des faits eux-mêmes. La théorie peut être inconnue ou trop compliquée. La science appliquée crée alors une forme ayant un postulat dont on sait parfaitement qu'il ne fournira par voie déductive que des propositions *approchées*. La forme en elle-même est absolument correcte, mais elle ne contient les faits qu'avec une tolérance inadmissible pour la science pure.

La science appliquée multiplie d'ailleurs sans pudeur les formes particulières auxquelles elle ne cherche pas à donner un développement considérable.

Par exemple la théorie de l'élasticité étant difficile, la théorie de la résistance des matériaux la supplée dans la pratique. Elle contient une théorie approchée de la torsion, une théorie approchée de la flexion, ..., toutes théories indépendantes ou à peu près, tandis que la théorie de l'élasticité s'applique à tous ces phénomènes, les coordonne avec une précision malheureusement balancée par une complication de formules effarante. Bien entendu la complication des résultats ne peut en aucune manière être opposée à une théorie dont les postulats sont simples et

quasiment nécessaires. Mais la rigueur dans le calcul de la résistance des matériaux est un luxe si parfaitement inutile, qu'il vaut mieux des théories partielles plus simples, même un peu fautives, qu'une théorie plus satisfaisante mais délicate à manier.

Bref la science appliquée est une science simplifiée pour les besoins de la pratique, ou encore une science d'attente. De plus en plus elle s'efforce de se confondre avec la science pure par la rigueur de ses méthodes ; elle ne s'en distingue quelquefois que par son objet (construction des appareils d'optique).

Divisions de la physique.

Il ne faut pas que le lecteur se laisse influencer par les divisions des traités élémentaires, trop servilement conservées dans les traités de physique supérieure. Séparer la chaleur de la thermodynamique, ou, quels que soient les noms adoptés, couper en deux branches l'étude des phénomènes thermiques est un legs du temps passé parfaitement ridicule aujourd'hui. Nous n'hésitons même plus à rassembler dans la thermodynamique tout ce qui s'occupe des ions électrolytiques, par exemple les forces électromotrices dites de contact. La thermodynamique a pour prolongement rationnel la physico-chimie dont elle n'est que le préambule en un sens, la *forme* en un autre sens.

De même l'acoustique est morte envisagée comme science distincte. On la fait rentrer dans la mécanique physique qui est l'application aux faits de la mécanique rationnelle. Ce qui est pro-

prement musical dans l'acoustique est relégué un peu en marge de la physique et forme comme un corps de doctrine indépendant. La mécanique physique contient comme chapitres l'hydrostatique et l'hydrodynamique dans laquelle se loge tout ce qui a trait à la propagation des ébranlements, c'est-à-dire l'acoustique des fluides, la théorie de l'élasticité (dans laquelle rentre l'acoustique des solides), et diverses autres sciences analogues.

Comme troisième section importante de la physique, nous trouvons l'étude des symétries qui n'est pas à sa place ici mais dont je parle pour déblayer le terrain. Elle s'occupe des procédés généraux de classification des phénomènes, basés sur la répétition dans l'espace, ce qu'on appelle la *symétrie*. Elle admet comme cas particulier la cristallographie.

Tous ces objets éliminés, restent l'électricité-magnétisme et l'optique qu'on peut raisonnablement couper en trois parties. D'abord l'optique qui *peut* se traiter indépendamment de tout rapprochement avec l'électricité-magnétisme; ensuite la partie de l'électricité-magnétisme qui *doit* se traiter indépendamment de tout rapprochement avec l'optique. Enfin les parties communes appelées électroptique. En toute rigueur la première partie rentre dans la troisième, l'optique étant un cas particulier de l'électricité-magnétisme ; c'est ce que nous indiquons par le changement de *peut* en *doit*. Pratiquement la distinction proposée est bonne, car elle répond aux nécessités de l'enseignement. Il est bien inutile de compliquer dès le début par des analogies complexes l'optique géométrique, les interférences et

la diffraction, en un mot tout ce qui est nécessaire pour la théorie des instruments d'optique.

Nous parvenons ainsi à une division en six parties :

Mécanique physique.
Thermodynamique.
Electricité-magnétisme.
Optique.
Electroptique.
Etude des symétries.

L'étude des symétries doit être reléguée à la fin puisque c'est un classement général des phénomènes.

Ainsi le terme *physique générale* doit être abandonné ; il comprend trop de choses disparates et suppose chez l'étudiant trop de compétences variées. Il est urgent de procéder à un recoupement qui amène une spécialisation indispensable. De pareils changements dans le langage ne sont pas sans conséquences, comme on pourrait se l'imaginer. Si les chaires magistrales de nos universités pour la physique générale étaient respectivement consacrées à des branches bien délimitées de cette science, elle ne serait pas en France dans l'état peu florissant où nous la voyons. J'imagine que les titulaires de ces chaires s'efforceraient de connaître à fond au moins la partie de la physique qui correspondrait au titre de leur chaire. De même on ne voit pas la nécessité que toute la physique soit enseignée dans toutes les universités de province. Où serait le mal d'inviter nos étudiants à une circulation dont les Allemands se trouvent fort bien ?

Conclusions.

La méthode en physique n'a pas varié depuis une époque lointaine ; elle ne semble pas susceptible de perfectionnements. Nous avons inventé au cours des siècles mille manières de sentir, de souffrir et d'ignorer ; la méthode pour savoir reste unique et invariable. De ce que Bacon a le premier rassemblé les règles de l'induction en un corps de doctrine, il serait faux de conclure qu'elles n'étaient pas antérieurement appliquées. *Le Novum Organum* parut en 1620, c'est-à-dire *postérieurement* aux travaux de Galilée, savant éminemment moderne. S'il est difficile d'exagérer l'influence de cet ouvrage *sur la foule* auprès de laquelle il vulgarisait des règles souvent méconnues et rehaussait des occupations souvent méprisées, il faut bien reconnaître que son action sur les savants fut nulle, parce qu'elle était inutile. Rappelons avec un grain d'ironie que Bacon s'est magistralement trompé en appliquant ses propres règles, toutes les fois qu'il s'est proposé d'élucider quelque problème expérimental.

Depuis toujours les hommes construisent des théories, développent des formes. Mais la réussite a longtemps été médiocre, parce que la géométrie et les sciences mathématiques étaient dans l'enfance.

Nous avons dit en commençant que la physique peut servir comme type d'une science achevée. C'est qu'en effet la méthode déductive n'est pas propre à la physique.

En physique les formes prennent immédiatement une allure mathématique au sens concret du

mot, d'où une incomparable précision, une merveilleuse richesse.

Dans les autres sciences de la nature, les formes existent mais moins précises et susceptibles par conséquent d'un moindre développement sans recours nouveau à l'expérience. Les théories des valences et du carbone asymétrique en chimie sont des formes logiques se rattachant à la théorie des combinaisons arithmétiques et à l'étude des symétries.

C'est précisément parce que la physique n'est pas une exception à la règle générale, mais parce qu'elle l'illustre d'une manière éblouissante que l'étude de sa méthode présente un haut intérêt philosophique.

H. Bouasse
Professeur à la Faculté des Sciences
de Toulouse.

CHIMIE[1]

L'observation des objets qui nous entourent nous conduit à distinguer diverses sortes de matière. Quand nous désignons d'un mot le marbre ou le cuivre, nous entendons rappeler qu'un certain ensemble de qualités est commun à tous les objets en marbre et qu'un autre ensemble est commun à tous les objets en cuivre. D'ailleurs ce qui précise la notion et qui justifie le mot, c'est que l'ensemble de qualités ainsi désigné dans l'un et l'autre cas paraît être quelque chose de défini et de persistant. Défini dans quelle mesure? Persistant, à quel degré? Telles sont les questions auxquelles la chimie s'efforce de répondre.

Dire que l'ensemble de qualités appelé cuivre est défini, c'est admettre que nous le retrouvons exactement pareil à lui-même sur tous les échantillons et en tout temps. Et ceci suppose que ces qualités sont soumises à une comparaison rigoureuse, c'est-à-dire à des mesures physiques.

1. L'auteur essaie simplement de définir l'objet de la chimie et les moyens mis en œuvre pour l'atteindre. La division du sujet est la suivante : 1° l'espèce chimique, les espèces possibles; 2° la transformation chimique, les transformations possibles.

Ainsi le cuivre façonné en fil est essayé pour sa résistance à la rupture ; l'essai se traduit par un nombre indicateur de sa ténacité. De même un autre nombre détermine sa conductibilité, un troisième son poids spécifique, etc. Ce sont là des caractères d'identité qui, réunis, précisent le signalement d'un échantillon de cuivre, et nous dirons que le mot cuivre désigne quelque chose de défini si le signalement s'applique tout entier et sans la moindre variation à tous les échantillons de ce métal. L'expérience ne donne pas ce résultat. Ainsi, des fragments de cuivre de provenances diverses n'ont pas du tout les mêmes conductibilités. On reconnaît, il est vrai, qu'elles sont d'autant plus voisines que la métallurgie a été plus soignée, et l'affinage industriel plus parfait, et l'on peut d'abord espérer qu'on obtiendra ainsi des échantillons divers de qualités définies. Mais une autre difficulté se présente : c'est que chacun de ces échantillons est lui-même variable avec le temps. Ses propriétés élastiques, par exemple, dépendent non seulement des conditions actuelles où on l'étudie mais aussi, et beaucoup, des conditions antérieures où il a passé. Si bien que l'observateur n'est jamais assuré de le ramener au moment d'une mesure dans tel état de comparaison qu'il aura choisi. C'est dire que la définition du cuivre est, en somme, assez précaire, et il en est de même pour un grand nombre de solides. — Seuls certains solides cristallisés paraissent bien invariables[1] ; on verra plus loin comment ils peuvent alors être définis avec certi-

1. D'où l'importance de la cristallographie pour le chimiste.

tude. Mais la notion d'espèce chimique va prendre tout de suite une précision plus grande par l'étude des liquides.

Un liquide se prête mieux aux mesures d'identité. D'abord il est homogène, c'est-à-dire semblable à lui-même dans toutes ses parties. De plus, si on lui impose l'hétérogénéité soit par une solidification, soit par une vaporisation partielle, dès qu'on ramène le tout à la température initiale, il retrouve bientôt son homogénéité primitive et redevient exactement ce qu'il était d'abord. Mais les divers échantillons d'un liquide peuvent se comporter de façons diverses dans leur état d'hétérogénéité temporaire. Si l'on isole la fraction solidifiée ou la fraction vaporisée, et qu'on la ramène séparément à la température initiale, il arrive qu'elle est identique par ses qualités à la fraction non solidifiée ou non vaporisée ; il arrive aussi qu'elle en diffère. Or, il est constant que les échantillons du liquide qui réalisent le premier cas[1] sont tous rigoureusement comparables entre eux. Ainsi nous trouvons dans l'épreuve du fractionnement le criterium de l'espèce définie. Quand tous les caractères mesurables résistent sans variation à cette épreuve, leur ensemble constitue le signalement bien déterminé d'un liquide pur.

Et maintenant qu'arrive-t-il dans l'autre cas ? Si le fractionnement divise le liquide en deux parties qui ne sont pas identiques entre elles, on peut fractionner à leur tour chacune de ces parties, et ainsi de suite en continuant ; il est bien

1. Sous le contrôle de fractionnements variés et à des pressions diverses.

évident que cette opération pourra être poussée aussi loin qu'on le veut si l'on dispose d'une quantité de matière suffisante et d'un temps assez long. L'expérience montre qu'on arrive toujours ainsi à faire apparaître deux ou plusieurs espèces définies, et que les divers échantillons du liquide peuvent être reconstitués par le mélange à doses variables de ces matières pures qu'on en a extraites. — En résumé, il y a des liquides définis et tous ceux qui ne le sont pas peuvent être résolus en espèces définies.

On conçoit l'importance du résultat et celle de la méthode expérimentale qui le fournit. Cette méthode, au début de la chimie organique, a été le seul guide qui a permis aux chercheurs de démêler l'extraordinaire complexité des espèces. Aujourd'hui encore elle est leur garantie la plus sûre. Aussi voit-on dès l'abord, en entrant dans le laboratoire, toute une série de ces appareils de verre à colonnes ou à boules que la technique moderne a réalisés pour le fractionnement rapide et automatique des liquides.

La même épreuve s'applique à un gaz puisqu'on peut le liquéfier et le ramener par fractions à l'état gazeux[1]. Enfin elle est applicable aux solides qu'on peut fondre ou dissoudre. Mais il faut faire ici des réserves. Si nous voulons de cette manière reconnaître une espèce solide définie, il faut nous assurer qu'après liquéfaction la solidification totale ramène bien la matière dans un état rigoureusement identique à l'état primitif. Or, nous avons vu que ce n'est pas toujours possible.

1. C'est de la sorte qu'on a isolé les gaz très rares qui accompagnent l'argon dans l'atmosphère.

En fait, on n'est guère assuré de retrouver l'état initial que s'il est stable. Il est stable assez souvent quand il est cristallin. Aussi l'épreuve à laquelle on soumet les solides est-elle une cristallisation fractionnée. Cette méthode a rendu les plus grands services dans l'exploration d'un domaine compliqué de la chimie minérale, celui des terres ou oxydes rares[1].

On voit maintenant comment le chimiste peut discerner, isoler et définir ses matériaux. Mis en présence d'un nombre illimité de mélanges à propriétés variables il en fait émerger un nombre limité d'espèces pures à propriétés fixes.

Et à présent nous sommes en état de répondre à cette question : à quel degré une espèce est-elle définie ? Elle n'est définie que pour des propriétés données et au degré de précision qui caractérise leur mesure. Si, pour une propriété déterminée, les procédés de mesure s'affinent, il peut arriver que la définition d'une espèce soit atteinte. C'est justement ce qui s'est produit pour la définition de l'azote. Par des mesures de densité particulièrement précises lord Rayleigh acquit la conviction que l'azote extrait de l'air était de 5 millièmes plus lourd que l'azote extrait

1. On peut les extraire de la monazite du Brésil. C'est un phosphate complexe de thorium, cérium, lanthane, didyme, yttrium. etc. On sait que ces oxydes peuvent entrer dans la composition du squelette des manchons à incandescence. Le chimiste Auer de Welsbach, qui est connu du public pour cette découverte, a justement fait une application remarquable de la méthode de fractionnement. Il a pu, par un grand nombre de cristallisations fractionnées, démontrer que le didyme n'est pas une espèce définie, mais qu'il est résoluble en néodyme dont les sels sont roses, et en praséodyme dont les sels sont verts.

des matières azotées. Et c'est ainsi qu'avec Ramsay il découvrit l'argon dans l'atmosphère.— Par suite la définition d'une espèce chimique doit être considérée comme provisoire et sujette à revision. A plus forte raison peut-elle être revisée quand la physique découvre quelque propriété nouvelle de la matière. En créant des appareils sensibles à cette propriété elle nous fournit comme un sens nouveau pour l'observation des phénomènes, elle accroit notre puissance de discernement, et nous voyons surgir des espèces inconnues. Il n'y a pas d'étude qui ait été plus féconde à ce point de vue que la spectroscopie. Mais nous avons un exemple récent qui n'est pas moins remarquable. L'étude des radiations pénétrantes commencée par Rœntgen a fait découvrir d'abord la radioactivité de l'uranium (Becquerel), ensuite la radioactivité plus grande du minerai d'uranium, la pechblende, puis, dans ce minerai, la radioactivité plus grande encore du baryum qu'on en sépare ; enfin le fractionnement du chlorure de baryum radioactif a fait apparaître un espèce inconnue, le chlorure de radium (Curie et Mme Curie).

Envisageons à présent tout l'ensemble des espèces définies. Il est essentiellement discontinu : d'un terme à l'autre les propriétés varient par différences brusques et jamais d'une façon continue. Mais cette discontinuité parmi les espèces apparaît d'une manière plus frappante encore quand on observe leurs métamorphoses. Et nous allons maintenant insister sur les relations que

ces métamorphoses établissent entre elles. Chauffons de l'oxygène pur dans un vase de verre clos, il conserve indéfiniment ses propriétés. De même chauffons du cuivre pur dans le vide, il demeure à l'état de cuivre. Au contraire, mettons le cuivre en présence de l'oxygène dans un même vase et chauffons le système. Nous constatons qu'une partie au moins de l'oxygène disparaît et que les propriétés du cuivre s'évanouissent. En même temps une espèce nouvelle a pris naissance, l'oxyde noir de cuivre. Ainsi les espèces ne sont pas persistantes, elles peuvent apparaître ou disparaître. Et tel est le caractère de la transformation chimique, c'est un changement discontinu qui détruit complètement certains êtres et qui en fait naître de nouveaux. Voilà un fait de première importance : nous pouvons créer des espèces. Mais créer des espèces, c'est créer des ensembles nouveaux de propriétés. Serons-nous donc capables de façonner la matière à notre gré ? Une longue expérience a montré que nous le pouvons dans une certaine mesure. Et la tâche de la chimie est justement de reconnaître les limites de notre puissance et de les élargir. Ainsi nous avons d'abord à nous poser ce problème, quelles sont les espèces possibles, et quelle est leur dépendance ?

*
* *

La combustion du cuivre établit une relation entre le cuivre et l'oxygène d'une part, l'oxyde cuivrique d'autre part. On la rappelle en disant que l'oxygène et le cuivre ont servi à *composer* l'oxyde cuivrique, ou bien que l'oxyde cuivrique

est *composé* de cuivre et d'oxygène. On nomme aussi *composé* toute espèce qui peut se résoudre en deux ou plusieurs autres. Par exemple l'oxyde rouge de mercure est un composé car l'action de la chaleur le résout en mercure et oxygène. Mais le mercure, le cuivre, l'oxygène, ne sont pas des composés car on n'a jamais pu les former avec d'autres espèces ni les résoudre en d'autres. On les appelle *corps simples* ou *éléments*. Il y a donc deux catégories d'espèces, les composés et les éléments. Tout composé peut être formé avec des éléments ou résolu en éléments. De plus l'expérience montre que, pour un composé donné, la désignation des éléments est unique quels que soient les modes de formation ou de résolution. Au contraire, des éléments étant donnés, la liste de leurs composés est multiple. Enfin les composés sont très nombreux, les éléments sont en petit nombre. Dès lors on conçoit qu'il devient avantageux pour la représentation des espèces de les mettre toutes sous la dépendance des éléments.

Justement le langage écrit usité par les chimistes résume d'une façon adéquate et simple les lois de cette dépendance. Pour abréger nous allons l'accepter tel qu'il est et l'interpréter, certains qu'il est d'accord avec l'expérience acquise[1]. Et nous verrons comment la représentation des composés connus peut indiquer la voie pour la recherche des espèces possibles. La notation chimique est fondée sur le compte rigoureux des

1. La définition de ce langage, bien qu'elle soit familière au lecteur, a paru devoir figurer dans cet exposé; elle est d'ailleurs aussi courte que possible.

masses qui entrent dans les combinaisons. Cette comptabilité perfectionnée, qui constitue l'analyse pondérale, montre que l'élément n'est pas tout à fait perdu dans le composé, il y laisse une trace ineffaçable qui est sa masse[1]. Aucune combinaison, aucune migration d'éléments d'un composé à l'autre ne peut s'effectuer sans qu'il y ait déplacement de masse et que l'analyse le révèle. Mais l'élément, au cours de ses métamorphoses conserve un autre signe de son individualité, son poids relatif.

Si, par exemple, on considère divers composés volatils pris sous un même volume de comparaison[2] et qu'on les analyse, on trouve qu'*un élément donné y est toujours représenté par la même dose ou par ses multiples simples*. Cette dose, *qui peut désormais rester indivisée*, est une constante caractéristique de l'élément, on l'appelle son *poids atomique*. Notons chaque poids atomique par un signe ; dès lors le poids d'un composé volatil pris sous le volume de comparaison pourra être représenté simplement par la juxtaposition de ces signes. Et c'est ainsi que pour chaque composé nous pourrons écrire une formule simple qui en donne le dosage. Exemple: le gaz carbonique sous le volume de comparaison pèse 44 grammes. On dit que son poids molécu-

1. Loi de Lavoisier.

2. On choisit le volume de comparaison de telle manière que le poids atomique de l'hydrogène soit égal à l'unité de poids. Si cette unité est le gramme, ce volume est voisin de 22 ¹, 22 dans les conditions normales de température et de pression. Il est évident que la considération des *masses* atomiques est tout à fait inutile, puisque nous n'avons à connaître que leurs rapports.

laire[1] est 44 grammes. Ces 44 grammes sont formés avec 1° une dose de carbone (C = 12) ; 2° deux doses d'oxygène (O = 16). Sa formule s'écrira COO, ou, par abréviation CO_2. Et tous les composés possibles (volatils) du carbone et de l'oxygène s'écrivent simplement avec les symboles C et O.

On pense bien que cette notation si commode n'est pas limitée aux composés volatils. Le poids moléculaire d'un composé volatil est relié par des lois invariables à d'autres caractères physiques dont la mesure ne suppose pas la volatilité[2]. De sorte que, par extension, on le détermine encore pour les composés fixes d'après ces caractères. Enfin, il y a mieux : les formules fournies par les poids moléculaires expriment une foule de faits qu'elles ne tendaient pas d'abord à rappeler. Nous verrons qu'elles représentent avec le maximum de simplicité les migrations d'éléments et leurs substitutions possibles. Si bien qu'elles se trouvent imposées par l'étude des métamorphoses, et qu'elles deviennent indépendantes des mesures physiques. C'est pourquoi tout composé a un poids moléculaire, et tout élément un poids atomique[3].

*
* *

Mais avant de chercher une interprétation plus

1. On devrait dire *poids comparé*. Certains auteurs disent poids normal.

2. Par exemple, l'abaissement du point de congélation qu'il impose à un liquide en s'y dissolvant.

3. Rappelons que la notion de poids comparés (équivalents) a été clairement établie par Richter sur la simple donnée de la neutralisation des acides par les bases.

complète des formules nous pouvons dès à présent nous rendre compte de leur utilité dans la marche du connu à l'inconnu. Les formules, par le seul fait de leurs indices numériques, permettent tout de suite d'établir une coordination entre les espèces qu'elles représentent. Or, toute coordination entre des faits connus appelle nécessairement des faits nouveaux. Prenons un exemple simple : les composés du chlore de l'oxygène et de l'hydrogène sont en petit nombre. Les principaux qui se présentent dans la pratique du laboratoire sont les suivants : $ClOH$, ClO_3H, ClO_4H. Nous ne pouvons pas lire ces trois formules sans y voir une lacune, et sans que cette question se pose impérieusement à notre esprit : l'espèce ClO_2H existe-t-elle ? Il se trouve qu'elle existe en effet, mais elle est plus difficile à obtenir et à conserver. On voit qu'une simple interpolation a suffi pour l'évoquer.

Des considérations analogues conviennent tout aussi bien à des cas plus compliqués. Et leur valeur s'est affirmée surtout dans la chimie du carbone qui est certainement le domaine le plus intéressant pour la systématique des espèces. Qu'on imagine les composés du carbone, de l'hydrogène et de l'oxygène. Ils sont innombrables, mais l'étude de leurs propriétés permet de les réunir en groupes d'après leurs ressemblances. C'est ainsi qu'on a pu grouper un certain nombre de composés qu'on appelle alcools. Parmi ces alcools considérons les alcools primaires, et parmi ceux-ci restreignons encore notre étude aux espèces voisines de l'alcool du vin. Leurs formules peuvent être rangées en série régulière : CH_4O, C_2H_6O, C_3H_8O, $C_4H_{10}O$, etc.

Supposons qu'on ait isolé les huit premiers et le dixième. Il y a aussitôt une probabilité très grande pour qu'on découvre l'alcool $C_9H_{20}O$, et on devra aussi rechercher si, au delà du dixième il n'en existe pas d'autres. — Mais ce n'est là encore qu'une coordination linéaire. Chaque alcool primaire, par oxydation, fournit un aldéhyde, chaque aldéhyde un acide. Dès lors l'espèce possible n'est plus seulement encadrée dans sa série. Elle devient solidaire des séries voisines, et, si la liste des acides connus se prolonge, celle des alcools possibles s'enrichit. Cette fois, voilà une coordination à deux facteurs, qu'on peut figurer par une table à double entrée, et qui, multipliant les lacunes, multiplie les prévisions.

Il est digne de remarque que ce système de classification a pu être appliqué aux éléments eux-mêmes par Mendeleïeff. Il a rangé de la sorte leurs noms en séries régulières suivant une table à double entrée, et, en signalant les places vides, il a réussi avec un rare bonheur à évoquer des éléments nouveaux que les chimistes ont ensuite découverts et isolés[1]. Comment donc a-t-il choisi les facteurs de coordination ? L'un d'eux, qui correspond en quelque sorte au degré de complication des formules, est la grandeur du poids atomique ; l'autre, qui correspond à la fonction chimique est la *valence* de l'élément. C'est cette valence dont nous allons maintenant préciser le rôle dans l'enchaînement logique des espèces.

Considérons un élément quelconque et ses

1. Tels le gallium, le scandium, le germanium.

combinaisons avec l'hydrogène. Choisissons celle[1] dont la formule ne contient qu'une seule dose de l'élément considéré. L'indice de l'hydrogène dans cette formule est ce qu'on appelle la valence de l'élément pour l'hydrogène, ou, par abréviation, sa *valence*. Ainsi l'existence de HCl fixe la valence 1 du chlore, celle de H_2O fixe la valence 2 de l'oxygène, celle de AzH_3 la valence 3 de l'azote, et celle de CH_4 la valence 4 du carbone. Il se trouve que ces nombres représentent pour les composés de chaque élément non seulement une formule, mais un type de formules possibles. En effet, il arrive que le chlore peut se substituer à l'hydrogène, et il le remplace toujours dose pour dose. De même il arrive qu'une dose d'oxygène remplace deux doses d'hydrogène, et qu'une dose d'azote en remplace trois. Soit alors le méthane CH_4. Nous pouvons à partir de ce composé prévoir les suivants : CH_3Cl, CH_2Cl_2, $CHCl_3$, CCl_4, COH_2, CO_2, CAzH ; et aussi : (COHCl), $COCl_2$ CAzCl. Or on les connaît tous sauf un !

*
* *

On voit déjà comment la valence devient un moyen de prévision. Mais pour lui donner toute sa puissance, il convient de faire appel à une hypothèse que nous avons jusqu'ici laissée dans l'ombre. Nous avons parlé de doses indivisibles et de poids atomiques, et nous n'avons rien dit des atomes. Nous l'avons fait à dessein. C'est que la notion d'atome n'est pas, comme celle du

1. L'expérience montre qu'il n'y en a qu'une.

poids atomique, le résultat direct de l'expérience. On ne peut pas dire non plus qu'elle soit nécessairement contenue dans notre langage. Il se trouve seulement que nous pouvons l'y introduire et qu'elle rend notre expression plus aisée, et notre intuition plus facile. En d'autres termes, ce n'est qu'une hypothèse ; mais c'est la plus féconde des hypothèses, et nous lui devons certainement le développement si rapide de la chimie organique.

Quand nous écrivons une formule, celle de l'eau par exemple, nous juxtaposons forcément les signes pour la clarté de l'écriture. En sorte que l'hydrogène et l'oxygène subsistent dans le symbole, tandis que leurs propriétés sont abolies dans le composé. L'hypothèse atomique accepte cette contradiction et elle pousse la notion du discontinu jusqu'à ses extrêmes conséquences en expliquant la discontinuité des espèces par la discontinuité de la matière elle-même. Déjà le physicien s'imagine un gaz comme formé de particules extrêmement petites, toutes pareilles, isolées les unes des autres, et dont la masse est proportionnelle au poids moléculaire du gaz. Ce sont les individus gazeux ou molécules. Mais le chimiste veut voir subsister dans la molécule les éléments mêmes qui ont servi à la constituer. Il fait correspondre à chaque élément des particules extrêmement petites, toutes pareilles, dont la masse est proportionnelle au poids atomique de l'élément. Ce sont les individus chimiques ou *atomes*. Le poids moléculaire est formé simplement avec les poids atomiques. La molécule est formée simplement avec les atomes, *et les atomes y restent juxtaposés*.

Cette conception donne à notre langage écrit une extension nouvelle : à présent les signes ne représentent plus seulement des doses relatives ; *si nous le voulons* ils représenteront des atomes. Dès lors que signifiera la valence ? Elle indique d'abord les liaisons possibles entre un atome isolé et les seuls atomes d'hydrogène. Tout se passe comme si le chlore pouvait retenir à lui un atome d'hydrogène, l'oxygène deux, l'azote trois, et le carbone quatre. Mais nous pourrons bientôt construire avec les atomes toutes les molécules possibles. Il nous suffira de savoir combien de liens peuvent rattacher un atome donné à d'autres atomes *quelconques*, différents entre eux ou non. — La règle est simple : pour l'hydrogène, un lien, pour l'oxygène deux (très rarement quatre), pour l'azote trois ou cinq, pour le carbone quatre [1]. On voit par là que l'azote et le carbone se prêteront à un grand nombre de combinaisons. Mais ce qui explique pour le carbone en particulier le nombre presque illimité des constructions possibles, c'est cette hypothèse qu'un atome de carbone peut se souder (au moins par un lien) à un atome de même nom et qu'ils peuvent ainsi former entre eux des chaînes linéaires ou ramifiées, ouvertes ou fermées sur elles-mêmes, variées à l'infini. Or chaque atome de carbone peut en même temps retenir avec lui dans la chaîne son cortège d'atomes différents.

Il suffit d'ouvrir un traité de chimie, et surtout de chimie organique, pour voir que cette architecture d'atomes y est en effet représentée et qu'elle se trouve correspondre avec les espèces

1. Pour le soufre, 2, 4 ou 6 ; pour le phosphore, 3 ou 5, etc.

connues. On y voit comment de proche en proche par complication graduelle la correspondance s'établit entre la réalité et les symboles, et comment ce langage qui, primitivement, ne prétendait raconter que la composition pondérale des espèces raconte maintenant et suggère leurs modes de création. — Ce n'est plus seulement un procédé d'écriture, c'est un guide pour la découverte, et une méthode pour la synthèse.

Quels sont les procédés particuliers de synthèse ? Une technique spéciale l'apprendra, et d'ailleurs nous y reviendrons. En attendant retenons la notion essentielle que la synthèse nous fournit. Notre classification change d'aspect : ce n'est plus simplement un ordre accepté sur les données que la nature ou le hasard de l'observation nous apporte. C'est un ordre créé par nous, un ordre déductif, comme une coordination idéale que nous réalisons ensuite nous-mêmes dans les faits. Et cela contribue encore à donner à la chimie son caractère propre[1].

Ce n'est pas tout, créer des espèces, c'est aussi créer des propriétés. Nos méthodes nous permettent donc de faire varier par degrés d'une façon régulière et prévue les propriétés de la matière. Le sulfate de potassium n'est qu'un terme dans une série ; en substituant au potassium un autre métal on obtient un autre sulfate plus ou moins différent du premier. De même l'alcool du vin n'est qu'un terme dans la série des alcools. C'est dire que nous pouvons façonner des alcools plus ou moins lourds, plus ou

1. Lire la préface de *la Chimie organique fondée sur la synthèse*, par Berthelot.

moins volatils. Nous pouvons également façonner presque à notre gré[1] des couleurs et des parfums.

Mesurons le chemin parcouru. Nous avons défini une espèce chimique comme un ensemble de qualités. Puis, nous avons mis toutes les espèces sous la dépendance d'un petit nombre d'entre elles, les éléments. Enfin avec les éléments nous avons appris à construire suivant des règles fixes des figures qui sont comme la condition des espèces possibles et qui représentent d'avance leurs propriétés. — Et il semble que la chimie se réduise maintenant à une sorte de géométrie des assemblages ! Mais si les symboles ne sont qu'un résumé de l'expérience acquise et s'ils la racontent fidèlement, ils ne la racontent pas tout entière. Ils ne représentent qu'un aspect des choses. Et l'on aurait grand tort de penser que cette science des formes constitue toute la science.

Quand on vit dans le laboratoire, on acquiert bien vite cette notion qu'il y a un fait plus important que l'espèce chimique et qui la domine, c'est la réaction même qui la crée ou la détruit. Or si le langage exprime la possibilité de l'espèce il n'exprime pas la possibilité de la réaction[2]. Le

1. Nous élargissons notre choix en multipliant la variété dans le discontinu.

2. D'où le défaut des traités qui abusent des formules, et l'erreur des débutants qui attribuent à ces formules (trop commodes) une importance exagérée.

débutant qui veut s'initier à la pratique des réactions se sent dès l'abord désarmé devant le caractère d'inévitable qu'elles présentent. La transformation chimique lui paraît s'accomplir sous des influences irrésistibles qui ne laissent aucune prise à son action. Laissons du phosphore sec exposé à l'air sous une cloche fermée. Le phosphore ne tarde pas à prendre feu et sa combustion produit les flocons blancs d'anhydride phosphorique. Mettons l'anhydride phosphorique au contact de l'eau, il se dissout avec élévation de température. Pour achever la dissolution, faisons bouillir. Nous avons à présent une solution d'acide phosphorique. Filtrons cette liqueur, et versons-y la liqueur (filtrée aussi) qui résulte de la dissolution de la chaux dans l'eau. Nous voyons apparaître un précipité de phosphate de calcium qui se rassemble au fond du vase. — Toutes ces transformations se sont succédé, pour ainsi dire, d'elles-mêmes. Nous n'avons fait que choisir les réactifs et les mettre en présence, mais nous n'avons pas pu les maîtriser. De plus le retour spontané de l'un des états au précédent paraît impossible. Et maintenant le phosphate de calcium est une substance à peu près inerte que nous pourrons très malaisément faire entrer en réaction et qui est peu différente du phosphate de calcium naturel.

Essayons de résumer l'impression que nous laisse cette expérience : à mesure qu'elle progresse nous voyons diminuer le nombre des réactions spontanées qui demeurent possibles. Ainsi il est évident qu'il y a plus de promesses de réactions dans le système eau, anhydride, phosphorique, chaux, que dans le système eau de

chaux et acide phosphorique[1]. Il y a plus de promesses encore dans le système eau, oxygène, phosphore et chaux. Ces systèmes qui ont même composition élémentaire peuvent donc être classés suivant une sorte de hiérarchie. Nous dirons que celui qui contient le plus de promesses, qui recèle le plus grand nombre de réactions possibles est au potentiel le plus élevé. Et nous énoncerons la proposition suivante qui n'est pas une loi, mais simplement la définition du mot que nous avons choisi. *Etant donné un système chimique, toute réaction spontanée de ce système abaisse son potentiel.*

Nous justifierons plus loin le mot de potentiel, et alors seulement nous établirons une loi nouvelle. Pour le moment nous n'avons fait que fixer une notion. Montrons-en l'utilité. Tout d'abord, si nous voulons enrichir notre étude du plus grand nombre possible de faits, nous devons essayer de suivre l'évolution du système à partir du potentiel le plus élevé. Dans l'exemple précédent avons-nous réalisé cette condition? Evidemment non, car l'hydrogène et l'oxygène tendent spontanément à former de l'eau, l'oxygène et le calcium à former de la chaux. Nous avions donc intérêt à partir de l'ensemble formé par l'hydrogène, l'oxygène, le phosphore et le calcium isolés. Il se trouve que ce sont des éléments. Ce n'est pas là une rencontre fortuite. On peut même énoncer une règle assez générale en disant : à la tempéra-

1. En effet, le système (1) contient en puissance toutes les transformations du système (2) plus une transformation au moins qui conduit de 1 à 2. Bien entendu, on tient compte de ce fait que le retour spontané de 2 à 1 est impossible.

ture et à la pression où nous observons d'ordinaire un système qui ne contient ni carbone ni azote est à un potentiel moins élevé que l'ensemble de ses éléments isolés. Cette remarque explique la simplicité relative des espèces minérales. En effet, comme il semble le plus souvent qu'en se compliquant elles se dégradent, on conçoit que leur complication trouve bientôt un terme. — En chimie organique il n'en est pas ainsi. Si nous assistons à l'évolution spontanée d'un système qui ne contient pas d'autres éléments que le carbone, l'hydrogène, l'oxygène et l'azote, nous constatons assez généralement qu'en se dégradant il se simplifie. D'où une opposition apparente entre les deux domaines de la chimie, opposition qui a longtemps donné le change au chercheur. Il suffit justement pour la voir disparaître, de faire entrer en jeu avec les quatre éléments organiques des éléments minéraux convenablement choisis ; et tel est le secret des principales synthèses dans la chimie du carbone.

Ainsi on fait un usage constant du chlore, du brome ou de l'iode pour les substituer à l'hydrogène dans les substances hydrocarbonées. D'autre part on cherche par tous les moyens à introduire des éléments métaux dans des molécules organiques. Ensuite on oppose les composés du premier genre à ceux du second. Par exemple le méthane iodé CH_3I est opposé au zinc-méthyle $(CH_3)_2$ Zn. Aussitôt il se forme de l'iodure de zinc et un nouveau carbure d'hydrogène apparaît :

$$2CH_3I + (CH_3)_2Zn = ZnI_2 + 2CH_3 - CH_3$$

Mais à son tour l'éthane peut être changé en éthane iodé et subir la même action. On passe

de la sorte au propane CH_3-CH_2-CH_3, et ainsi de suite en continuant. Récemment on a trouvé dans les composés organomagnésiens mixtes un puissant instrument de synthèse[1].

*
* *

On voit donc comment le chimiste peut choisir son point de départ pour ouvrir à des réactions nouvelles le plus grand nombre de chemins possible. Mais ce n'est là qu'une direction générale donnée à son étude. Encore faut-il qu'il sache exploiter la voie qu'il aura choisie et la rendre féconde. — Reprenons l'ensemble phosphore oxygène. Comparons-le à l'anhydride phosphorique. Du premier système au second le potentiel s'est abaissé. C'est dire que le premier contient plus de promesses de réactions que le second. Or nous n'avons observé qu'une réaction unique. Une question nouvelle s'impose maintenant : avons-nous épuisé toutes ces promesses ? L'observation attentive nous montrera qu'il n'en est rien. En effet, dans un courant lent d'air sec le phosphore sec peut s'oxyder sans brûler. Et alors le produit de l'oxydation n'est pas uniquement de l'anhydride phosphorique : on parvient à y discerner (par sublimation lente) une espèce chimique nouvelle qui est l'anhydride phosphoreux. Or l'anhydride phosphoreux est susceptible de s'oxyder à son tour plus ou moins rapidement pour donner l'anhydride phosphorique. Ainsi l'anhydride phosphoreux et l'oxygène constituent encore, au-dessus de l'anhydride phosphorique,

1. Grignard. Voir les traités spéciaux.

un système dont le potentiel est plus élevé. Et, par suite, l'ensemble eau, anhydride phosphoreux, oxygène, sera certainement plus riche en métamorphoses que l'ensemble anhydride phosphorique et eau. C'est bien ce que l'expérience vérifie. Car l'anhydride phosphoreux dissous dans l'eau donne l'acide phosphoreux qui se prête à une foule de réactions. Citons-en une particulièrement intéressante : à l'ébullition il se dédouble en donnant de l'acide phosphorique et du phosphure d'hydrogène.

Ce qui précède nous fournit un enseignement : nous ne devons dégrader un système chimique qu'avec les plus grandes précautions. En méconnaissant l'acide phosphoreux on se fût privé non pas d'une observation, mais d'un grand nombre d'observations nouvelles. Or il se trouve que, par sa mobilité, l'acide phosphoreux était de toutes les formes diverses du système initial l'une des plus propres à nous échapper. — Nous aurions pu citer bien des exemples analogues. Ainsi l'alcool du bois en s'oxydant fournit de l'acide formique. Et il est possible de reconnaître au cours de cette oxydation un stade intermédiaire qui est l'ensemble oxygène et aldéhyde formique. L'aldéhyde formique est d'une extraordinaire mobilité pour les métamorphoses. Aussi, dès qu'on l'a isolé, devient-il une source féconde de découvertes. Mais à cause de cette mobilité même il est extrêmement difficile à saisir. — Nous avons fait un progrès. Nous savions que parmi les formes diverses d'un système chimique la plus élevée en potentiel est la plus riche en promesses. Nous apprenons maintenant que parmi ces formes il en est de plus promptes aux réalisations. Ce sont

justement celles-là que nous avons intérêt à retenir. Mais étant les plus déliées et les plus mobiles, elles sont aussi les plus fragiles et les plus fuyantes.

L'acide hypochloreux, l'eau oxygénée, l'acide azoteux peuvent être cités comme des types accomplis de ces formes mobiles. Aussi deviennent-ils entre des mains exercées des réactifs de choix. Mais combien de formes analogues plus déliées encore doivent passer inaperçues qui deviendraient, si nous pouvions les saisir, de précieux agents de réaction. Le chimiste averti cherche partout leur trace et parfois il la trouve. Nous pouvons décrire une expérience tout à fait caractéristique à cet égard. L'hydrate ferreux humide exposé à l'oxygène s'oxyde et devient de l'hydrate ferrique. L'arsénite de soude en présence de l'oxygène reste inaltéré. Qu'on mette à présent l'hydrate ferreux au sein d'une solution d'arsénite de sodium et qu'on agite à l'air. Il fournit le même hydrate ferrique. Mais en même temps une partie de l'arsénite de sodium s'est oxydée à son tour et changée en arséniate de sodium. Que s'est-il donc passé ? C'est qu'entre l'hydrate ferreux et l'hydrate ferrique qui est le produit final de son oxydation, une forme intermédiaire peroxydée s'est produite [1], forme extrêmement fragile, mais qui n'est pas si fuyante qu'elle n'ait laissé son empreinte en fixant sur l'arsénite une partie de son oxygène [2]. — Ainsi le chimiste arrive à mettre

1. Dans certains cas, on a isolé cette forme intermédiaire et reconnu le peroxyde (voir, par exemple, le cas du carbonate de cérium).

2. Exactement la moitié de l'oxygène retenu d'abord (si l'arsénite est en excès).

en jeu des composés qu'il ne voit pas, et on peut dire qu'ils sont d'autant plus actifs qu'ils sont plus insaisissables.

*
* *

Nous allons voir qu'on peut les utiliser mieux encore. L'oxydation de l'arsénite de sodium étant liée à celle de l'hydrate ferreux s'arrête (quel que soit l'excès d'arsénite), dès que tout l'hydrate ferreux est transformé. On peut imaginer un mécanisme de réaction plus parfait encore qui régénère incessamment la forme mobile. — Soit une solution d'hydroquinone pure dans l'eau pure ; agitée dans l'oxygène elle ne s'altère presque pas. Or il suffit qu'on y ajoute une quantité infime d'acétate de manganèse pour qu'elle s'oxyde aussitôt, et cette fois l'oxydation se poursuit indéfiniment sans addition nouvelle d'acétate, si grande que soit la masse d'hydroquinone. Nul doute que l'acétate de manganèse, comme l'hydrate ferreux, ait formé un peroxyde. Mais la destruction de ce composé au contact de l'hydroquinone est aussi complète qu'elle est rapide ; l'oxygène retenu un instant par le sel métallique est intégralement fixé par lui sur l'hydroquinone et le sel, libre à nouveau, est aussitôt prêt à en reprendre une dose nouvelle. Si bien que la forme mobile, sans cesse détruite et sans cesse régénérée, continue indéfiniment son œuvre oxydante.

Ici la forme mobile acquiert une importance de premier ordre ; elle communique sa mobilité. L'oxygène et l'hydroquinone tendaient spontanément à réagir, mais leur réaction était lente et comme entravée. L'acétate de manganèse la

délie[1], pratiquement il la rend possible. De la même manière on voit le platine éveiller à son contact l'activité endormie du mélange d'oxygène et de gaz sulfureux. Enfin un des accélérateurs les plus actifs qu'on ait trouvés est certainement le nickel réduit qui permet de réaliser en chimie organique un nombre considérable d'actions hydrogénantes[2]. — Ainsi le catalyseur agrandit pour nous le champ des transformations spontanées puisqu'il nous les révèle. Mais de plus, il ouvre un nouveau crédit à notre action. En effet, si nous ne sommes pas encore capables de rendre possible à notre gré telle réaction que nous aurons choisie, du moins nous pouvons espérer de régler à notre convenance la vitesse des transformations permises. Qu'on nous laisse pour chacune d'elles trouver le catalyseur qui peut l'accélérer ou la ralentir[3], et nous commanderons l'évolution d'un système quelconque. — Justement la matière vivante réalise pour nous des catalyseurs modèles qui sont les diastases. Ainsi nous voyons que le sucre peut se changer, selon la diastase qui en décide, soit en gaz carbonique et alcool, soit en acide lactique. C'est dire que nous pourrons intervenir sans le moindre effort dans la destinée d'un système chimique, et de tels exemples nous avertissent de la puissance qui nous est promise.

1. C'est là un fait de catalyse. On appelle catalyseur une substance qui, introduite en quantité finie dans un système chimique, détermine, sans s'altérer, la transformation du système, si grande que soit sa masse.

2. Sabatier et Senderens. Voir les traités spéciaux.

3. Il y a, en effet, des catalyseurs qui ralentissent les réactions. Exemple, la glycérine dans l'oxydation du sulfite de sodium.

Jusqu'à présent nous n'avons fait qu'assister, en la dirigeant, à l'évolution spontanée d'un système chimique. Mais, si nous supposons le système complètement isolé du monde extérieur, son évolution forcément s'arrête, car il finit par trouver un état plus stable que tous les autres, un état de sommeil profond dont aucun catalyseur ne le réveille plus. Rétablissons-le au contraire dans le milieu d'où nous l'avions séparé, l'expérience nous apprend qu'il peut tôt ou tard revenir à l'un de ses états antérieurs pour évoluer à nouveau. Comment peut se faire ce retour à l'activité primitive? Disons-le tout de suite, il y a des cas où ce retour est facile, et ce sont évidemment ceux-là que nous devons étudier tout d'abord pour y exercer nos moyens d'action.

Dans un vase clos maintenu à température constante et plein de gaz ammoniac démasquons du chlorure d'argent. Aussitôt une réaction commence et du gaz est absorbé par le solide qu'il transforme en une espèce nouvelle, le chlorure d'argent ammoniacal. Mais, si grande que soit la quantité du chlorure d'argent, l'ammoniac ne disparaît pas entièrement. En effet sa pression, après s'être d'abord abaissée, finit par atteindre une limite au-dessous de laquelle elle ne descend plus. — Au contraire, imaginons qu'à la même température, dans un vase clos vide de gaz ammoniac, on démasque du chlorure d'argent ammoniacal. Il perd aussitôt du gaz ammoniac et se transforme en chlorure d'argent; mais si l'espace offert au gaz est assez restreint, son dégagement s'arrête, et la pression, qui s'est d'abord accrue, atteint bientôt une limite qu'elle ne dépasse plus. — Enfin il se trouve que, dans les deux expé-

riences, la pression limite du gaz ammoniac est la même.

Comment interpréter ces observations? A la même température nous pouvons à notre gré déchaîner l'une ou l'autre de ces réactions inverses. Mais nous devons supposer qu'à peine en marche elle appelle la réaction opposée, et celle-ci s'accélère à mesure que l'autre progresse, si bien qu'il arrive un temps où elles transforment simultanément des masses équivalentes. A ce moment-là elles se tiennent rigoureusement en échec. Le système paraît immobile, et la pression (dans ce cas particulier) caractérise son état d'équilibre. — Voilà un fait nouveau : distinguer ici une réaction spontanée serait tout à fait illusoire puisque, à un moment quelconque, nous voyons deux transformations inverses se produire d'elles-mêmes et simultanément. Il faut donc élever notre point de vue, et considérer dans son ensemble la modification du système total. Mais de plus, nous allons voir qu'il nous est possible de déterminer nous-mêmes ces modifications. En effet, enfermons le système dans un vase cylindrique entouré de glace à 0° et clos par un piston mobile, et supposons l'équilibre établi[1]. Abaissons le piston : du gaz ammoniac est absorbé. Elevons-le : du gaz ammoniac se dégage. Et si nous opérons assez lentement, nous sommes à chaque instant maîtres de revenir en arrière en rame-

1. La pression d'équilibre serait de 12 millimètres de mercure, ce qui compliquerait un peu le dispositif de l'expérience. Mais cela n'importe pas à notre démonstration. De même, nous pouvons négliger ici l'existence du second chlorure d'argent ammoniacal.

nant le système par tous les états qu'il vient de traverser[1].

Précisons davantage, et prenons la mesure de notre action. L'expérience montre qu'en abaissant le piston pour faire entrer en combinaison une certaine dose d'ammoniac il faut effectuer un travail déterminé. En même temps un certain poids de glace fond autour du corps de pompe. Cette modification ne s'est faite que par contrainte, mais la modification inverse est spontanée et nous allons y trouver la récompense de notre effort. Imaginons que, par un artifice quelconque, un regel se produise autour du vase et qu'il regagne ainsi les calories perdues ; alors, spontanément, la même dose d'ammoniac se dégage et le piston (en soulevant un poids si l'on veut) restitue le travail qu'on avait effectué. Ainsi, dans ce cas particulier de la transformation réversible, nous savons à quoi correspond la promesse d'une modification chimique spontanée, elle correspond exactement au travail que nous avons fourni. Et en même temps que la promesse chimique se réalise, l'énergie dépensée devient utilisable à nouveau.

Notre système chimique en état d'équilibre nous apparaît maintenant sous un double aspect : les promesses de métamorphoses y sont liées aux promesses de travail. C'est-à-dire que nous pouvons le considérer à notre gré soit comme un accumulateur de réactions, soit comme un accumulateur d'énergie. Considérons le second point de vue. Nous savons que d'autres systèmes

1. En pareil cas, on dit que la modification est faite par voie réversible.

(exemple, un liquide et sa vapeur) enfermés dans le même vase à la place du premier pourraient simuler les mêmes effets. Nous pouvons donc oublier volontairement ce que nous avons mis dans le corps de pompe, étudier seulement les réactions extérieures de ce système anonyme sur le milieu qui l'entoure, et en chercher les lois. Dès lors la discontinuité qui distinguait le phénomène chimique s'efface de plus en plus devant le caractère continu de la modification totale. Et celle-ci devient justiciable du physicien qui l'insère dans ses mécanismes. — On conçoit que cette étude puisse s'étendre, et qu'on arrive à rattacher la possibilité d'un changement d'état chimique aux conditions les plus générales des transformations de l'énergie.

Ici nous risquons d'empiéter sur le domaine de la thermodynamique. Mais il nous faut bien indiquer les enseignements que le chimiste en tire. Dans l'exemple précédent nous avons porté toute notre attention sur le travail mécanique utilisable dans la modification réversible. Ce n'était pas sans raison. En effet l'analyse la plus générale montre que cette quantité prend une importance décisive dans l'évolution spontanée d'un système quelconque. Considérons un système chimique dans un état a_1 puis dans un état a_2. Supposons que le passage du premier état au second s'effectue *spontanément* par voie réversible isotherme. Nous ne pouvons pas dire à l'avance si le système absorbera de la chaleur ou s'il en dégagera. Mais ce qui est certain c'est que, dans tous les cas, on pourra lui faire produire un travail. Et de plus, le maximum de travail qu'il pourra fournir pendant la transfor-

mation est une quantité définie qui ne dépend que de l'état a_1 et de l'état a_2, et nullement du chemin (réversible isotherme) qui assure le passage. Par suite, *la distance des deux états* a_1 *et* a_2 *se trouve estimée sans ambiguïté en valeur énergétique*. On peut donc caractériser chaque état par un niveau tel que l'abaissement de ce niveau soit justement proportionnel à la dose d'énergie mécaniquement utilisable qu'on peut attendre de la transformation. Et maintenant, faisons un pas de plus. Considérons les états a_1 et a_2 et les niveaux N_1 et N_2 correspondants. Et supposons qu'on ait oublié tous les chemins réversibles qui mènent de a_1 à a_2. La notion des niveaux N_1 et N_2 n'en subsiste pas moins. L'énergie utilisable N_1-N_2, *bien qu'elle ne nous soit plus accessible*, conserve encore un sens. Et nous pouvons énoncer cette loi générale : *Toute transformation spontanée d'un système quelconque abaisse son niveau énergétique*. Mais nous savons qu'elle abaisse en même temps ce que nous avons appelé son potentiel. Nous pouvons donc à présent, grâce à l'étude du réversible, préciser la définition du potentiel chimique, en donner la mesure, et dire que, dans tous les cas, les promesses de réactions spontanées peuvent être évaluées en énergie.

*
* *

Ceci nous fait comprendre que, pour remonter l'échelle des potentiels et pour accumuler les promesses de réactions, nous devrons produire un effort. Mais dans quel sens devrons-nous l'exercer? D'après ce qui précède on voit bien que pour agir de notre mieux sur un système chi-

mique il faudra le saisir dans un état d'équilibre réversible. Alors nous pourrons peser sur ses transformations et sa destinée sera, pour ainsi dire, dans notre main. C'est ce que l'expérience vérifie et elle conduit à une loi très générale que nous pourrons prendre pour règle de notre intervention : quand un système quelconque est en équilibre, toute action que nous pouvons exercer sur les conditions de cet équilibre fait réagir le système de telle sorte qu'il tend à contrarier notre effort [1].

Voyons l'exemple cité plus haut. La combinaison du gaz ammoniac avec le chlorure d'argent est exothermique. C'est-à-dire qu'elle dégage de la chaleur. La décomposition du chlorure d'argent ammoniacal est endothermique, c'est-à-dire qu'elle absorbe de la chaleur et tend à abaisser la température. Voulons-nous faire progresser la réaction exothermique, nous n'avons qu'à refroidir le système. Voulons-nous qu'elle rétrograde, nous n'avons qu'à l'échauffer. On voit ici très exactement quelle peut être l'importance de la donnée thermochimique et dans quels cas elle peut servir de guide au chercheur.

Imaginons maintenant que de proche en proche abaissant la température on arrive à rendre presque nulle la pression d'équilibre du gaz ammoniac au-dessus du chlorure d'argent ammoniacal, on aura l'illusion que dans ces conditions nouvelles sa formation seule est possible tandis que sa décomposition ne l'est plus. Et si

1. On reconnaît la loi de modération commune à la plupart des phénomènes réversibles qui mettent en jeu de l'énergie. En chimie, elle a été énoncée pour la première fois, d'une façon claire, par M. Le Châtelier.

l'on suppose un expérimentateur non prévenu, et contraint par les circonstances à observer à cette température très basse, il ne soupçonnera pas l'équilibre réversible et il ignorera le moyen de régénérer l'ammoniaque libre et le chlorure d'argent. C'est là encore un avertissement. La température de nos laboratoires est en effet pour un grand nombre de systèmes chimiques très inférieure à celle où les caractères de réversibilité nous deviennent sensibles. Aussi est-ce souvent à la chaleur des foyers que le chimiste travaille pour raviver les affinités et pour préparer les réactifs dont il attend aux basses températures les plus puissants effets.

Mais le phénomène réversible nous fournit d'autres enseignements. Dans l'expérience qui nous sert de type nous avons vu qu'on pouvait à volonté faire évoluer le système chimique en agissant sur la pression du gaz ammoniac. Pourtant, dans le laboratoire, nous ne voyons guère les chimistes user de ce procédé. Ils opèrent presque toujours à la pression atmosphérique. Au fait, c'est que la pression n'est qu'un moyen particulier pour agir sur un facteur d'importance plus générale, — la concentration des réactifs. Notre expérience à peine modifiée va mettre ce facteur en évidence. Prenons un excès d'iodure d'argent [1] et agitons-le avec de l'ammoniaque étendue. Une partie de l'iodure d'argent qui est jaune se transforme en iodure d'argent ammoniacal blanc, et la transformation s'arrête quand la concentration du liquide en ammoniaque s'est

1. Il se comporte à sec, en présence de gaz ammoniac, exactement comme le chlorure.

abaissée jusqu'à une valeur fixe. L'équilibre étant de la sorte établi, ajoutons un peu d'ammoniaque, aussitôt la formation de l'iodure blanc progresse; au contraire dilûons la liqueur avec de l'eau, c'est la régénération de l'iodure jaune qui s'accomplit.

Ainsi en versant simplement dans le verre à expériences quelques gouttes de l'un des constituants qui participent à l'équilibre, on peut rehausser le potentiel du système tout comme si l'on effectuait un travail. Bien mieux, on conçoit qu'il est possible de calculer l'accroissement d'énergie utilisable pour une dose connue du constituant ajouté, et qu'on puisse ainsi attribuer à chaque réactif un coefficient qui mesure son importance énergétique dans le système. Et nous voyons se dessiner toute une science nouvelle où le compte détaillé de l'énergie se distribuerait sur tous les individus chimiques qui en sont le support, une sorte d'analyse plus parfaite capable de déterminer non seulement l'espèce et la figure des molécules, mais les aptitudes qu'elles présentent à chaque instant dans le milieu qui les entoure. Le discontinu retrouve alors son rôle, et la chimie qui semblait se fondre dans la physique reprend son véritable caractère.

*
* *

Cette science est à peine commencée. On en trouvera une ébauche dans l'étude des dissolutions et surtout dans celle des dissolutions aqueuses. L'eau est, par excellence, le dissolvant des électrolytes. Or on verra comment les forces électromotrices permettent d'agir par voie réver-

sible sur la concentration de ces réactifs, et l'on reconnaîtra dans l'élément de pile un instrument de choix pour l'analyse énergétique. La pile est comme un mécanisme chimique démontable où se localisent les gains et les pertes d'énergie. Ici du zinc se dissout, là du cuivre se dépose (fonctionnement de la pile de Daniell). L'énergie utilisable du système total a décru. Mais un examen attentif montre que cette diminution n'est qu'une résultante. Si le niveau énergétique du zinc s'abaisse, celui du cuivre s'élève. Aussi quand le chimiste, sans plus de précautions déplace du cuivre par le zinc au sein d'une solution de sulfate de cuivre, le phénomène qu'il observe lui apparaît sous un nouvel aspect. Ce n'est plus une transformation qu'il a sous les yeux, mais bien deux transformations solidaires, liées de telle sorte qu'il peut attribuer exactement à chacune d'elles la part d'énergie qu'elle met en jeu.

Le cas privilégié de la pile est assez particulier. Mais nous atteignons par là une notion qui peut devenir très générale et très féconde. En regardant de près nous trouverons mainte réaction où l'on pourra discerner ainsi deux transformations solidaires. Et il arrivera souvent, comme dans la pile de Daniell, que l'une d'elles sera la compensation énergétique de l'autre. Telle apparaît, si l'on veut, la réduction de l'oxyde de cuivre par le charbon ; tandis que le carbone se dégrade en passant à l'état de gaz carbonique, le cuivre se relève en reprenant son état d'élément libre. Mais nous pouvons trouver des exemples plus nets et d'une indication plus précieuse. Mettons de la limaille de cuivre au contact d'une solution aqueuse étendue d'acide

sulfurique, et saturons la liqueur d'oxygène dissous. Un peu de cuivre passe à l'état de sulfate de cuivre, mais en même temps un peu d'eau (ou des éléments de l'eau) passe à l'état d'eau oxygénée [1]. Cette eau oxygénée évolue d'elle-même vers l'ensemble eau et oxygène libre : c'est la preuve certaine que le potentiel s'est élevé pour une partie du système pendant qu'il s'abaissait pour l'autre. Ainsi cette modification totale, *qui est spontanée*, relève un potentiel. Remarquons bien qu'elle n'est pas réversible. Nous pouvons donc nous affranchir des conditions du réversible et rehausser les potentiels dans des circonstances toutes différentes.

On conçoit aisément tout l'intérêt que peut avoir le chimiste à préciser ces circonstances par de multiples observations. Dans l'exemple qui nous occupe les deux réactions solidaires (formation de sulfate de cuivre et apparition d'eau oxygénée) semblent tout à fait distinctes, tellement distinctes que nous n'apercevons pas tout d'abord la chaîne qui les relie. Mais il nous suffira de rappeler un fait cité plus haut pour la mettre en évidence. Nous avons expliqué déjà l'oxydation connexe de l'hydrate ferreux et de l'arsénite de soude par l'apparition transitoire d'une forme mobile. Il est probable qu'ici encore une forme mobile fournit le lien fragile et nécessaire. Il se peut que le cuivre avec l'oxygène et l'eau se change en un composé peroxydé que l'acide sulfurique transforme aussitôt en sulfate de cuivre et eau oxygénée. Quoi qu'il en soit, on voit qu'il n'est pas téméraire d'espérer que, par

1. Expérience de Traube.

une connaissance plus profonde des formes mobiles, nous pourrons établir de la même manière entre des réactions diverses (réversibles ou non) des connexions nouvelles et insoupçonnées. Alors nous connaîtrons mieux les ressources infiniment variées de l'énergie chimique, et nous saurons mieux en faire usage.

Il semble que la chimie soit à présent complètement libérée de la physique, et devenue tout à fait autonome. Si le chimiste trouvait quelques raisons de s'enorgueillir de cette indépendance reconquise, c'est qu'il connaîtrait bien mal l'histoire des sciences et la loi de solidarité qui les relie. Toute science serait stérile qui prétendrait se suffire à elle-même et ignorer les autres. Justement la chimie des transformations liées risquerait d'être bien incomplète si elle ne cherchait des leçons dans la matière vivante. Parmi les innombrables réactions inverses dont le balancement incessant contribue au phénomène de la vie, il y en a de réversibles. Leur alternance peut s'expliquer par des changements de concentration [1]. Mais il y en a d'irréversibles aussi. Leur explication sera forcément d'une autre sorte, et, si l'on met à part la réaction chlorophyllienne (qui prend sa source d'énergie dans le rayonnement solaire), il faut bien supposer que toute réaction qui élève un potentiel est sous la dépendance d'une autre réaction productrice d'énergie utilisable. Cette dépendance, il faut la découvrir, et ceci nous mène tout droit à l'étude de la biologie.

1. Dus, par exemple, à l'afflux des aliments ou à la dissipation des déchets.

*
* *

Maintenant nous pouvons conclure, car nous avons achevé de placer la chimie dans son cadre. Le fait fondamental d'où nous sommes partis, c'est l'espèce chimique. Trouver la condition des espèces chimiques et les lois de leurs métamorphoses, tel est l'objet qui impose à cette science son caractère propre et ses méthodes distinctes. Actuellement elle essaie d'expliquer les espèces par des assemblages d'atomes et les métamorphoses par des transformations d'énergie. Est-ce une conception définitive? Nul ne le croira. Mais la question est bien prématurée, puisque nous ne savons même pas relier la première explication à la seconde et rapporter l'énergie aux atomes. La chimie peut donc être envisagée telle qu'elle est, dans la forme où elle évolue. Il paraît bien qu'un long avenir lui est encore promis, et qu'un développement fécond lui est assuré, — surtout si, trouvant dans la physique un instrument et un guide, elle cherche dans la biologie son application et son modèle.

A. Job,
Professeur à la Faculté des Sciences
de Toulouse.

MORPHOLOGIE

« Pour devenir un bon naturaliste, il faut vivre avec les animaux, les aimer, s'amuser à les observer, s'y intéresser en dehors de toute préoccupation lucrative. Vous le savez tout comme moi, Rommel, on peut faire un professeur d'histoire naturelle, mais un naturaliste se fait tout seul... »

MAURICE MAINDRON. *L'Arbre de Science*, 1906, p. 14.

Quoi qu'on en puisse écrire, dire ou penser, le vrai naturaliste au sens complet du mot, celui qui personnifie le mieux tout un grand groupe de sciences parallèles aux sciences mathématiques et aux sciences physiques mais ayant ses tendances et, dans une certaine mesure, ses méthodes propres et distinctes, c'est incontestablement le morphologiste.

L'étude des formes innombrables des êtres vivants envisagées soit dans leur état actuel soit dans leurs incessantes métamorphoses et rapportées aux causes internes ou externes, actuelles ou anciennes, qui les déterminent, exige un état d'esprit très spécial, des qualités très particulières qu'on peut développer à coup sûr, mais qui, le

plus souvent, sont congénitales ; elle suppose aussi un sens esthétique très aiguisé, une soif de beau dont les aspirations jamais assouvies sont les meilleurs excitants aux progrès de cette branche des sciences naturelles.

Si la morphologie est rarement comprise comme elle devrait l'être et si les bons naturalistes sont rares, ce n'est pas à mon avis par défaut de vocations ou parce que les questions dont s'occupe le morphologiste présentent de trop grandes difficultés ou un trop faible intérêt. Il suffit d'avoir observé un certain nombre d'enfants pour constater combien est vif chez la plupart d'entre eux le goût des choses de la nature. Ils veulent connaître ou apprécier les êtres vivants qui les entourent. Leur curiosité toujours en éveil les porte irrésistiblement à développer cette tendance qu'ils apportent en naissant. La mémoire en quelque sorte indéfiniment extensible dans le jeune âge, permet de meubler sans effort le cerveau infantile des connaissances nominales qui deviennent plus tard d'une acquisition si pénible et qui ont contribué souvent à faire considérer par les esprits superficiels les sciences morphologiques comme des sciences de mots.

On peut affirmer que plus de la moitié des enfants de nos lycées et même de nos écoles primaires pourraient devenir d'excellents naturalistes.

Malheureusement les admirables dispositions qu'ils apportent en naissant sont rarement cultivées. Bien plus on s'efforce trop fréquemment de tuer les vocations dans l'œuf et les détestables pratiques de la pédagogie traditionnelle détruisent rapidement les germes précieux d'une ini-

tiative qu'il eut suffi d'encourager pour en obtenir les meilleurs résultats.

Les premiers pédagogues que l'enfant rencontre sur son chemin sont ses parents et en particulier sa mère. Or la femme, si curieuse à beaucoup d'égards, attache en général peu d'importance à la connaissance des plantes et des animaux. La vieille histoire biblique de la pomme et du serpent semble lui avoir laissé une perpétuelle défiance qu'elle cherche à communiquer à sa progéniture. Des prohibitions inspirées par un amour maternel inéclairé viennent à chaque instant troubler l'apprenti naturaliste dans ses premières expériences : « Ne touche pas à cette bête, elle mord ! ». « Ne touche pas à cette plante, c'est un poison ! ». « Ne vas pas au ruisseau, tu pourrais te noyer ! ». « Ne grimpe pas à l'arbre, tu tomberais ! »

Et je ne veux même pas envisager les cas, hélas trop nombreux, où ces défenses sont inspirées par un sentiment moins noble et plus prosaïque : « Laisse cet insecte, c'est une bête malpropre, elle va te salir ! » ou « Tu vas tacher ta veste et déchirer ton pantalon ». C'est pis encore naturellement quand père et mère, se désintéressant de tout rôle pédagogique, transmettent leur autorité à des mercenaires d'une culture rudimentaire et à l'esprit farci de préjugés ridicules.

Il est fort heureux pour le progrès des sciences naturelles qu'il y ait encore pas mal d'enfants désobéissants.

Il est fort heureux aussi que certains parents comprennent tout ce qu'on peut attendre de vertu éducatrice de ces premiers contacts d'une intelligence qui s'éveille avec le milieu si complexe dans

lequel elle devra évoluer. On peut dire sans exagération que les cinq ou six premières années de l'existence sont celles pendant lesquelles le cerveau humain est capable d'acquérir par l'observation des êtres vivants les notions les plus utiles pour la conduite de la vie.

C'est ce qu'ont bien compris les grands penseurs qui, comme Rabelais, F. Bacon, J.-J. Rousseau, ont dénoncé ce qu'il y a de factice et de contraire au développement normal des facultés humaines dans les procédés pédagogiques généralement usités.

C'est ce que proclament aussi avec plus de force encore les esprits positifs, parfois un peu frustes, mais dégagés de préjugés et de routine, que nous voyons surgir chaque jour plus nombreux dans le nouveau monde.

Qu'il me soit permis d'invoquer à titre d'exemple le témoignage d'un grand praticien, d'un homme qui dans ces derniers temps s'est fait une belle renommée parmi les horticulteurs et les botanistes américains, Luther Burbank, de Santa-Rosa (Californie).

Après avoir enrichi l'humanité d'une foule de fleurs et de fruits nouveaux qu'il a créés par des croisements ingénieux, des mutations heureuses ou d'habiles sélections, Burbank vient de publier sous ce titre suggestif : *L'élevage de la plante humaine* (*The training of the human plant*) un petit livre fort intéressant d'où j'extrais la pensée suivante, très juste sous son apparente trivialité :

« Tout enfant devrait avoir à sa disposition des criquets, des têtards de grenouilles, des punaises d'eau douce, des colimaçons, des fraises de bois, des châtaignes, des glands de chêne,

des cônes de pin, des arbres auxquels il pourrait grimper, des ruisseaux où il aurait le droit de patauger, des rochers à escalader... et un enfant qui n'a pas eu tout cela a été privé de la meilleure part de son éducation. »

Il a surtout été privé de la meilleure part de son éducation de morphologiste et a subi de ce chef un dommage qu'il ne pourra jamais réparer complètement plus tard.

Mais à l'école l'enfant est soumis à de nouvelles épreuves et c'est merveille si le régime disciplinaire qui lui est imposé ne détruit pas chez lui d'une façon irrévocable le sens inné des choses de la nature.

Un verbalisme outrancier, les raisonnements faussement déductifs, le mépris des réalités concrètes, l'emploi des causes finales comme moyen d'explication, tels sont les vices principaux de l'enseignement dit classique. Pendant longtemps il y avait au moins une compensation à ce triste état de choses. Au sortir des humanités le jeune homme possédait une certaine connaissance des langues anciennes (latin et grec), et cela, en dehors d'une utilité morale supérieure, n'était pas sans de sérieux avantages pour le futur naturaliste. Habilement conduites, ces études littéraires pouvaient même fournir à l'esprit de l'apprenti morphologiste une excellente préparation pour ses futurs travaux. L'analyse linguistique révèle bientôt à une intelligence avertie des lois de structure et d'évolution des formes tout à fait comparables à celles qu'on peut déduire de l'observation des êtres vivants.

Mais combien de maîtres s'inspirent dans leur enseignement des méthodes d'un Auguste Schlei-

cher ou d'un Arsène Darmsteter ? Et avec les idées actuelles, faussement démocratiques, d'utilitarisme outrancier et de nivellement par le bas, c'est à peine si l'étude du latin et du grec est poussée assez loin pour assurer le minimum de savoir indispensable à l'acquisition de la nomenclature binaire et de la taxonomie, cet inévitable alphabet chinois du morphologiste.

Les sciences mathématiques n'exigent pour être abordées avec fruit qu'un très petit nombre de données préalables, la plupart très facilement et très rapidement abstraites du monde matériel. De là l'étonnante précocité des grands mathématiciens : Pascal, Abel, Evariste Galois...[1]

Très différentes sont les conditions requises pour la culture et pour le progrès des sciences naturelles. Avant de travailler à faire avancer la science, le morphologiste doit avoir emmagasiné un ensemble énorme de données concrètes qu'il lui faut apprécier, étiqueter et classer dans son esprit. Et ce travail préliminaire n'exigera pas

1. De là aussi le caractère simpliste et à certains égards enfantins de beaucoup de mathématiciens. Il y a quelques années, un nommé V..., élève de mathématiques spéciales d'un de nos grands lycées de province, a réussi à se faire accepter de plusieurs mathématiciens notoires comme l'auteur de théorèmes importants qu'il n'avait fait qu'emprunter à diverses publications connues et même aux comptes rendus de l'Académie des Sciences. Il a pu soutenir plusieurs semaines sans être démasqué le contact des analystes et des géomètres les plus éminents. Pareille mésaventure n'aurait pu arriver à des naturalistes ; l'insuffisance des connaissances concrètes nécessaires pour la pratique des sciences naturelles aurait vite décelé la fraude, si même celle-ci avait été possible, dans l'état actuel de la bibliographie.

seulement un effort de mémoire considérable. Il ne suffit pas de lire et de retenir ce qu'ont écrit les prédécesseurs. En cela comme en beaucoup d'autres choses, l'expérience d'autrui compte pour peu. Il est indispensable que, par un effort personnel, le morphologiste ait lui-même appris à voir, qu'il ait acquis une connaissance spéciale très affinée des objets de ses observations, qu'il sache interpréter et dégager des contingences perturbatrices les multiples expériences que lui présente la nature, expériences souvent bien plus précises que celles péniblement réalisées dans les laboratoires.

C'est seulement après ce long apprentissage, rendu plus long et plus difficile encore par la mauvaise préparation dont nous avons parlé, c'est seulement après de longues années de tâtonnements que le morphologiste peut tenter avec quelque espoir de réussite l'application des méthodes qui lui permettront peut-être d'arriver à quelque découverte sensationnelle.

Aussi n'est-ce jamais avant un âge déjà avancé (rarement avant la cinquantaine) que les naturalistes les plus éminents ont produit leurs œuvres capitales. Qu'on se rappelle les exemples de Lamarck, de Darwin, etc., et qu'on songe à l'énorme quantité de faits concrets lentement découverts ou péniblement contrôlés sur lesquels ces puissants esprits ont construit leurs théories générales.

Les méthodes usitées en morphologie ne sont d'ailleurs nullement différentes de celles employées dans les autres sciences naturelles et plus spécialement dans les sciences biologiques.

Le morphologiste devra d'abord s'exercer,

comme nous l'avons dit, à la connaissance des formes extérieures des êtres vivants. Après avoir acquis dès sa première enfance les notions générales que donne le contact de la nature, il suivra le goût qui l'entraîne vers tel ou tel groupe d'êtres vivants en particulier. Il faut que le morphologiste soit collectionneur ! Collectionneur de plantes, d'insectes, de coquilles, d'oiseaux, de mammifères, peu importe ! Mais l'étude systématique de séries de formes d'un ensemble déterminé est absolument nécessaire pour donner le sens de l'espèce et permettre de comprendre les grands problèmes que soulève cette question fondamentale de la biologie, qu'on l'aborde soit du côté statique comme il convient au début, soit du côté dynamique lorsqu'on est suffisamment armé pour le faire.

Et ici encore, que de critiques ne pourrait-on adresser à nos modernes pédagogues, et que de trésors intellectuels on laisse se gaspiller en pure perte ! Il y a dans tout adolescent un homme de sport et un collectionneur en germe. A cette double tendance la pratique des sciences naturelles donne la plus complète et la meilleure des satisfactions. Les exercices physiques que nécessitent la recherche des matériaux d'étude, les navigations, les courses en campagne, les excursions dans les bois, dans les montagnes, sur les grèves maritimes constituent les éléments d'une excellente culture somatique.

L'examen des objets recueillis vivants, dans leur pleine activité éthologique, leur préparation, leur détermination par comparaison avec les formes déjà classées en collections est la plus saine des distractions en même temps qu'elle

donne à l'esprit des qualités d'ordre, de jugement, d'esthétique visuelle susceptibles d'applications nombreuses dans les domaines les plus divers de l'art et de la science.

Un snobisme regrettable a disjoint aujourd'hui cet ensemble éducateur si admirablement fécond. D'une part la bicyclette, l'automobilisme ou quelque autre sport pour le sport, pratiqué d'une façon peu intelligente, d'autre part la collection de timbres-poste ou de cartes postales illustrées ont la vaine prétention de donner satisfaction à toutes les aspirations de nos jeunes étudiants !

Le résultat le plus immédiat de cette fâcheuse disjonction est la disparition chaque jour plus accentuée de ces chercheurs si intéressants que les Anglais désignent du nom expressif de *Field-naturalists*, qu'on pourrait traduire par naturalistes en plein air. Parmi eux cependant se recrutaient d'utiles auxiliaires de la biologie, ceux auxquels on décernait souvent en France non sans quelque injuste mépris le titre d'amateurs : francs-tireurs de la science qui ont fourni plus d'une fois d'importantes découvertes : qui toujours ont enrichi la moisson de faits particuliers servant de base aux plus hautes spéculations.

Même limitée à l'étude des formes extérieures, la morphologie comporte en effet des généralisations d'un ordre très élevé. Un Linné, un Tournefort, un Lamarck, un B. de Jussieu ont pu déduire du simple examen externe les premiers linéaments de la classification naturelle des animaux et des végétaux. Mais il faut se garder de croire qu'il soit impossible de rien attendre de plus de l'application de cette méthode plus délicate qu'on ne le croirait *a priori*.

Chaque jour les progrès de la science ont rendu plus utiles et plus indispensables les descriptions et les figures minutieuses, non seulement pour l'établissement d'une systématique plus précise, mais pour la solution des questions si vivement débattues aujourd'hui de l'origine des espèces par fluctuations et par mutations.

Une branche nouvelle de la morphologie, la biométrique, si en honneur surtout en Angleterre depuis quelques années, exige l'examen très minutieux et la mensuration détaillée de milliers d'individus d'une forme déterminée, et cette besogne, en apparence bien plus fastidieuse et bien plus futile que la comparaison de types spécifiques voisins, passionne à juste titre de nombreux travailleurs. Ceux-là seuls toutefois en tireront tout le parti désirable qui sauront apprécier d'avance la valeur dominatrice de tel ou tel élément dans la corrélation des organes.

Une autre branche de la science, la *promorphologie* de E. Haeckel qui est aux êtres organisés ce que la cristallographie est aux corps inorganiques, constitue aussi un champ plein de promesses. Elle est à peine abordée aujourd'hui bien qu'elle n'exige, elle aussi, d'autres connaissances préalables que celles de la morphologie externe et les éléments de la géométrie. Mais elle ne prendra toute sa valeur que lorsqu'elle sera combinée avec les données de l'éthologie, et celles-ci également ne peuvent être obtenues que par l'observation prolongée de la nature *in vivo*.

Si les formes extérieures des êtres vivants portent l'empreinte des milieux auxquels elles sont adaptées et sont dans une certaine mesure la

traduction des actions cosmiques auxquelles elles sont soumises, elles sont déterminées d'autre part non moins efficacement par les réactions éthologiques que l'ambiance provoque dans l'organisme.

Le morphologiste sera donc rapidement conduit à faire appel à l'anatomie interne envisagée sous toutes ses formes (organologie, histologie, cytologie). On sait les obstacles que de vieilles superstitions ont longtemps opposés aux progrès de l'anatomie humaine. L'histoire de Vésale est connue de tous. On sait aussi l'influence que les études anatomiques ont eu sur l'admirable épanouissement artistique d'un Léonard de Vinci, d'un Michel Ange, d'un Raphaël, d'un Albrecht Dürer.

L'anatomie comparée n'a pas eu une influence moins favorable sur le développement de la morphologie zoologique et de la morphologie botanique, et il est ridicule de prétendre qu'elle ait aujourd'hui épuisé sa fonction.

Elle a pris d'ailleurs une signification nouvelle et une valeur philosophique de premier ordre depuis l'avènement des théories transformistes de Lamarck et de Darwin qui, au point de vue statique jusque-là prédominant, ont ajouté le point de vue dynamique et les innombrables problèmes qu'il soulève.

Savoir par quelle série de transformations successives l'être vivant sorti d'un œuf arrive à une forme adulte déterminée était déjà sans doute une question intéressante pour les morphologistes prédarwiniens.

Il y eut certainement des embryogénistes avant Lamarck, mais combien les recherches ontogé-

niques sont devenues plus passionnantes depuis que nous connaissons les rapports de causalité entre les divers stades évolutifs et les formes ancestrales correspondantes !

Le morphologiste a été ainsi amené à un examen plus attentif des fossiles, et la paléontologie jusque-là simple objet de curiosité est devenue elle aussi une science indispensable à celui qui veut retracer l'histoire, au sens propre du mot, des êtres organisés.

Les parties solides qui seules nous attestent l'existence des animaux et des plantes des âges anciens sont, ainsi qu'on le dit justement, les *médailles de la création*. Elles portent inscrites en caractères indélébiles les marques irrécusables de la vie qu'ont menée leurs antiques possesseurs.

Entrevues par les hommes de génie, Bernard Palissy et le danois Nicholas Stensen, la signification et la valeur scientifique des fossiles furent comprises d'abord par les anatomistes Vicq d'Azyr, Pallas, Comper, Cuvier, et le développement des idées transformistes amena un progrès corrélatif dans ce domaine de la morphologie rétrospective.

Mais comme le remarquait il y a quelques années un éminent paléontologiste, « ce qu'il y a de désappointant dans les résultats obtenus par l'étude des fossiles, c'est le manque absolu de renseignements sur l'origine des grandes subdivisions ou phylmis des animaux et des végétaux. » (Woodword, 1898.)

Cela tient à ce que même les couches fossilifères les plus anciennes ne contiennent que des êtres déjà hautement évolués. Toute une série anté-

rieure de terrains métamorphisés ne nous laissent aucun espoir de rencontrer des organismes moins différenciés. Et d'ailleurs, même si les conditions de conservation avaient été meilleures, la simplicité de ces êtres, l'absence probable de toute partie squelettique ou leur faible consistance auraient certainement empêché la fossilisation de ces êtres primordiaux.

C'est grâce à l'embryogénie comparative que nous arriverons à combler en partie cette lacune à tout jamais irréparable de la paléontologie et à nous figurer approximativement ce qu'ont dû être des formes dont les grastraeades actuels, les trochosphères et autres larves pélagiques peuvent seuls nous donner quelque idée.

Nous devons donc, ainsi que le demande justement Ritter[1], cesser de cultiver exclusivement l'anatomie, l'embryogénie, la paléontologie, mais utiliser à la fois les données de ces trois sciences, si nous voulons obtenir de nouveaux et sérieux progrès en morphologie.

On ne saurait trop insister sur ce point à une époque où l'amoncellement des faits chaque année plus abondants contraint les travailleurs à une spécialisation précoce, spécialisation nécessaire et avantageuse à beaucoup d'égards, mais dont la conséquence la plus fâcheuse est que chaque spécialiste arrive trop vite à considérer comme seuls dignes d'intérêt les objets dont il s'occupe et la manière dont il s'en occupe.

« Quelle est la méthode la plus correcte, écri-

1. W.-E. Ritter. The place of comparative anatomy in general Biology. (*Congress of arts and science, Univ. Exp. Saint-Louis*, V, 1906, p. 330.)

vait récemment Montgomery[1]? Cela a été et cela sera sans doute longtemps encore l'occasion de bien des débats contradictoires. Les anatomistes comparatifs soutiennent une thèse, les embryogénistes une autre, et cela probablement parce que les premiers sont moins familiers avec les faits d'embryogénie et les seconds moins instruits des détails de la structure des animaux adultes. » Rien n'est plus juste, et la remarque s'applique à toutes les disciplines dont l'ensemble constitue ce qu'on appelle de nos jours la biologie. Chacune d'elles s'applique au même objet : l'être vivant ; le point de vue auquel on l'examine caractérise seul les divers compartiments scientifiques. Loin de demeurer étanches, ceux-ci doivent communiquer largement entre eux et permettre un continuel échange de résultats obtenus séparément pour les faire converger vers un but commun.

La physiologie elle-même ne peut être raisonnablement opposée à la morphologie comme on l'a fait trop souvent en France sous l'influence en ce point regrettable de l'illustre Claude Bernard. Que pour faciliter l'enseignement on distingue la science des formes et qu'on mette en regard la science des fonctions, cela peut être de quelque utilité. Mais à la condition de ne pas masquer les rapports intimes qui unissent ces deux ordres de connaissances. Tout organe implique une fonction et tout caractère morphologique correspond à un caractère physiologique. La trans-

1. Montgomery (Thomas-H.). On phylogenetic classification. (*Proceed. of the Acad. of nat. sc. Philadelphia*, avril 1902, p. 225.)

mission héréditaire des caractères physiologiques entraîne l'apparition dans la progéniture de particularités morphologiques d'importance variable et dont l'existence nous est parfois révélée uniquement par les phénomènes dynamiques et physico-chimiques qu'ils traduisent.

Inversement, l'étude attentive de légères variations morphologiques a permis grâce à la merveilleuse activité d'un Galton, d'un Pearson, d'un Bateson, etc., de créer une science nouvelle, la Biométrique, dont les indications sont souvent de grande valeur pour le physiologiste.

L'étude de la variabilité de certains caractères dans un lot homogène d'un grand nombre d'individus nous révèle dans quel sens nous pouvons espérer développer cette variabilité pour la création de races nouvelles. Au simple examen d'un polygone de variation un morphologiste expérimenté verra si une race est équilibrée ou, si l'équilibre est rompu, quelles sont les causes de cette rupture. On a pu reconnaître ainsi que les conditions de nutrition dans le sol règlent le nombre des fleurs ligulées d'une marguerite, que la profondeur des eaux amène une diminution de la taille des pagures mâles, que la présence de parasites entonisciens modifie les dimensions relatives de la carapace des crabes infestés, etc.

Tout le chapitre si intéressant des régénérations et des autorégulations qui les accompagnent est encore une preuve excellente de la nécessité d'envisager à la fois le côté physiologique et le côté morphologique des problèmes, et c'est ainsi que Morgan, Przibram, Kammerer et Barfurth ont pu jeter une vive lumière sur ces passionnantes questions.

L'expression de *morphologie expérimentale* que Davenport a le premier employée comme titre d'un livre admirable et que Lacaze-Duthiers aurait certainement accueillie avec enthousiasme n'est-elle pas la traduction de cette nécessité reconnue par tous les biologistes de supprimer toute barrière entre les deux aspects statique et dynamique de l'étude des êtres vivants ? C'est comme nous l'avons souvent répété par une fausse interprétation du mot expérience et en cherchant à monopoliser à leur profit la méthode expérimentale que les physiologistes de la vieille école cherchaient à légitimer leur prétention d'être des créateurs tandis que les morphologistes devaient se contenter d'être des contemplateurs de la nature[1].

D'un seul mot on peut dire que la morphologie équivaut dans les sciences naturelles à la méthode graphique dans les sciences physiques. En enregistrant l'action des facteurs externes ou internes qui agissent sur les êtres animés elle nous permet de formuler plus complètement certaines lois physiologiques et nous pose des problèmes dont sans elle nous ne soupçonnerions pas l'existence.

Quel étonnant complexe de connaissances morphologiques très précises et d'habileté expérimentale de premier ordre chez ces naturalistes qui, à la suite de G. Mendel, de H. de Vries, de Correns, de Tchermak, de Bateson ont établi une théorie de l'hybridité aussi féconde en biolo-

1. Giard (A.). Les tendances actuelles de la morphologie et ses rapports avec les autres sciences. (*Bull. scient. France et Belgique*, t. XXXIX, 1905, p. 471 et suiv.)

gie que l'a été la théorie atomique en chimie ! Grâce au mendélisme en effet le biologiste peut combiner à son gré les particularités élémentaires d'un grand nombre de types morphologiques et façonner en quelque sorte sur commande des formes nouvelles comme le chimiste produit des corps nouveaux à l'aide des corps simples qu'il a su distinguer. Le morphologiste est donc bien lui aussi un créateur.

Mais nulle part la connexion intime de la morphologie et de la physiologie n'apparaît plus nettement que dans les études éthologiques qui comme nous l'avons dit ont dès la plus haute antiquité constitué le champ propre du naturaliste par excellence et doivent être la base de son éducation ontogénique, comme elles ont été historiquement le point de départ de toute la biologie.

Le naturaliste doit après un examen suffisant distinguer un être vivant et le situer à la place qui lui convient dans les innombrables séries des formes réalisées ; mais il doit aussi retrouver dans cet être l'ensemble des causes actuelles et passées dont il est l'expression morphologique. Toute l'histoire de l'univers est écrite sur les ailes d'une mouche.

Eclairée et mise en valeur par les doctrines transformistes l'éthologie nous apparaît comme la science des équilibres réalisés à chaque instant entre les êtres vivants et les milieux cosmiques ou biologiques au sein desquels ils évoluent.

Considérée à l'état statique, à un moment donné, toute forme organisée est fonction des autres êtres qui l'entourent et des conditions climatologiques, géologiques et orologiques, etc., de la partie de la terre où elle est placée.

Au point de vue dynamique et en vertu de leur multiplication intense et variée, les animaux et les végétaux sont condamnés à une lutte perpétuelle pour la possession des conditions les plus favorables à leur existence. Leur plasticité et leurs adaptations tendent à rendre de plus en plus parfaits les équilibres à chaque instant ébranlés par les changements de l'ambiance.

La mobilité des équilibres biologiques nous est clairement démontrée par les fluctuations des caractères morphologiques dont la sélection peut et doit s'emparer pour leur imposer les directions les plus avantageuses.

C'est le point de vue si admirablement mis en lumière par Ch. Darwin dans son livre sur l'origine des espèces. Et il n'y a rien de contradictoire entre l'action de la sélection, facteur secondaire d'une puissante activité et celle des facteurs primaires et des causes ataviques qui déterminent la variabilité.

Pas plus qu'il n'y a contradiction entre l'action actuelle des facteurs primaires et l'intégration dans les gonades des modifications déterminées dans la série des temps et traduites par une modification indélébile des plasmas ancestraux.

D'autre part nous constatons chaque jour plus nettement que si les états d'équilibre biologique à chaque instant donné sont rigoureusement déterminés par les causes actuelles et l'indestructible passé, le problème peut comporter parfois des solutions multiples souvent inégalement avantageuses et par conséquent soumises au jeu de l'inexorable sélection.

C'est ce que nous prouvent les cas très fréquents de polymorphisme sexuel (dans l'un ou l'autre

sexe) et plus généralement les mutations si bien étudiées par Hugo de Vries. On n'a pas assez insisté à mon avis sur les ressemblances de toute nature qui existent entre les mutantes spécifiques et les formes sexuelles d'une même espèce, les unes et les autres étroitement déterminées.

C'est en effet une grave erreur de penser (comme cela paraît être l'idée de nombreux naturalistes contemporains) que les mutations peuvent être quelconques et en nombre indéfini à une époque arbitrairement choisie. De Vries lui-même a fait voir dans le cas classique de l'*Œnothera lamarkiana* que les mutantes existent en petit nombre (une dizaine au plus), inégalement armées pour la lutte pour la vie, et que par conséquent elles correspondent à quelques formes d'équilibre possible avec une plus ou moins grande stabilité. Certaines d'entre elles échapperaient certainement à l'observation et seraient éliminées à l'état jeune si le botaniste ne prenait soin de les placer dans des conditions artificielles qui en permettent l'observation jusqu'à l'âge adulte.

Les faits de pœcilogonie[1] ou mutations évolutives dont je me suis efforcé de révéler l'importance montrent aussi que la pluralité des états d'équilibre morphologique n'est pas réalisée seulement chez les formes parfaites, mais qu'elle peut exister aussi aux divers stades de l'embryogénie sans empêcher l'identité finale du résultat de l'évolution. Les belles recherches de Przibram et de Kammerer justifiant les prévisions que m'avaient inspirées l'observation de faits très

1. A. Giard. La pœcilogonie (*Bull. scient. Fr. et Belg.*, t. XXXIX, 1905, p. 153-188).

nombreux ont prouvé qu'ici encore le morphologiste peut intervenir expérimentalement pour modifier à volonté la série des formes évolutives en changeant les conditions qui règlent les équilibres ontogéniques successifs.

Toutes ces considérations me paraissent justifier amplement ce que j'ai dit de l'étendue de la sphère d'action qui est dévolue au morphologiste et de la nécessité qu'il y a pour lui de se tenir en contact permanent avec les objets de ses études envisagés dans le vaste laboratoire de la nature, en dehors de tout préjugé religieux et de toute conception métaphysique[1].

Elles justifient aussi le conseil que j'ai fréquemment donné et sur lequel j'ai encore insisté dans les pages précédentes de ne pas limiter nos procédés de recherches à telle ou telle instrumentation au détriment de toute autre. Ce n'est pas un vain désir de critique qui m'a fait jeter le cri d'alarme et dire les craintes que j'éprouvais en constatant le mépris non déguisé de certains naturalistes pour d'anciennes disciplines considérées par eux comme épuisées[2]. Aussi ai-je entendu avec grand plaisir les spirituelles objurgations que mon ami le professeur Ritter, de l'Université de Berkeley, prononçait récemment dans une circonstance solennelle :

« Gardons-nous bien, dirait-il, de détourner les débutants de telle ou telle ligne de travail, l'embryogénie ou l'histologie, par exemple, sous

1. A. Giard. L'évolution dans les sciences biologiques. (*Bull. scient. Fr. et Belg.*, t. XLI, 1907, p. 434 et suiv.)

2. A. Giard. La direction des recherches biologiques en France. (*Bull. scient. Fr. et Belg.*, t. XXVII, 1896, p. 432 à 458.)

prétexte que c'est *une branche morte* ou qu'il n'y a *plus rien à faire de ce côté*. Ne jetons pas une goutte de cocaïne sur l'ambition du jeune morphologiste ou du taxonomiste en lui disant : « Qui a souci de telles matières ? » Une semblable attitude peut faire du mal, beaucoup de mal. Elle nuit aux individus : elle nuit à la science...

« Il semble que les biologistes américains soient plus enclins que ceux des autres nations à suivre les variations d'une certaine mode dans leurs goûts scientifiques. Qu'on se rappelle combien la phylogénie faisait fureur il y a une quinzaine d'années : combien paraîtrait étrange et singulier celui qui s'occuperait aujourd'hui de questions de cet ordre. Mieux vaudrait se présenter dans une soirée en tenue de chasse que de s'aventurer à discuter un arbre phylogénique en présence d'un biologiste dernier cri. Et cependant qui pourrait prétendre de sang-froid que les problèmes de cet ordre sont sans importance, ou qu'ils sont tous résolus, ou qu'ils sont insolubles ? Qu'est devenue la méthode purement morphologique si en vogue il y a quelques années et si ignorée maintenant ? Et la segmentation de l'œuf ? Toutes les questions extrêmement intéressantes qui ont provoqué pendant une courte période de si bons travaux sur les divers modes de clivage ont-elles été résolues ? D'où vient qu'aucune voix ne se fait plus entendre de ce côté ? Combien de temps faudra-t-il pour que le domaine de la régénération, aujourd'hui si activement exploité, devienne aussi désert que les temples de Paestum ? Combien de temps la biométrie restera-t-elle en faveur ? Nous voudrions espérer que ce sera pour plusieurs décades ; mais instruits par l'histoire

nous craignons bien qu'elle ne soit rapidement reléguée dans le grenier aux vieux habits.

« Par ces doléances nous n'entendons nullement empêcher qu'on aborde de nouvelles directions de travail et de nouvelles méthodes, ni qu'on le fasse avec un vigoureux enthousiasme ; mais nous voudrions combattre cette étroitesse d'esprit qui fait mépriser les vieux problèmes et les méthodes anciennes, et surtout qui les fait abandonner avant qu'on n'en ait tiré tout ce qu'on en peut attendre. En même temps que le champ de nos recherches, élargissons le champ de notre intelligence. »[1]

Oui, élargissons notre intelligence et n'oublions pas que, selon le mot de Pascal, l'*homme ne connaît le tout de rien.*

Reprenons la tradition encyclopédique de nos grands philosophes qui furent de grands philosophes parce qu'ils furent surtout de grands hommes de science dans la complète acception du mot : Descartes, Lamarck, d'Alembert, Condorcet, et disons avec un excellent morphologiste qui, des détails minutieux de la conchyliologie, avait su s'élèver aux plus hautes conceptions générales :

« Toutes les branches des connaissances humaines se réunissant à un tronc commun, exercent les unes sur les autres la plus active influence et concourent à se perfectionner mutuellement. Il n'y a point de science que l'on puisse regarder

1. W.-E. Ritter. The place of comparative anatomy in general Biology. (*Congress of arts and scienc. Univ. Exp. Saint-Louis,* V, 1906, p. 325.) Ritter est sévère pour ses compatriotes : les mêmes critiques ne seraient pas déplacées chez nous.

comme essentiellement libre et indépendante des autres ; la physique, la chimie, l'histoire naturelle, la médecine, ne sont que la nature sous ses différents aspects.

« Livrez-vous avec zèle à l'observation et à l'expérience et ne vous reposez pas sur de vains mots pour l'interprétation de la nature... La perfectibilité de l'homme est indéfinie... Les progrès des sciences sont illimités et il n'est rien dans la nature dont on ne parvienne un jour à connaître les causes. Ne prononcez point avant d'avoir observé et rejetez vos anciennes opinions quand il sera prouvé qu'elles sont erronées, adoptez les nouvelles quand elles seront plus exactes ; une telle doctrine est propre à accélérer les progrès des connaissances et la perfectibilité de l'esprit humain[1]. »

Après avoir critiqué la pédagogie de la première enfance et celle de l'enseignement secondaire, on s'étonnera peut-être que je ne dise rien de l'éducation du naturaliste dans l'enseignement supérieur. Je me suis expliqué ailleurs sur ce sujet et je ne puis que renvoyer le lecteur à ce que j'en ai dit dans l'introduction de mes *Controverses transformistes*. Pour ma part, dans une carrière déjà longue du professorat, je ne crois pas avoir formé un seul naturaliste. Peut-être aussi ai-je été pour beaucoup un entraîneur utile en leur faisant comprendre par mon exemple tout ce qu'on peut trouver de joie et de réconfort dans l'étude de la biologie.

Par là, j'ai conscience d'avoir rendu service à

1. Drapernaud. *Discours d'ouverture du cours de zoologie de l'an X.*

plusieurs de mes camarades de lycée et de l'Ecole normale et à un certain nombre des élèves et des auditeurs de mes cours. Je leur ai fait entrevoir une vie digne d'être vécue.

Je ne saurai trop insister sur ce rôle moralisateur et bienfaisant de la culture des sciences naturelles.

Il y a une trentaine d'années, mon ami bien regretté A.-F. Marion, m'avait invité à une campagne de pêches dans le port de Marseille et au large des îles de Pomegues et Ratonneau. Marion était alors un des très rares zoologistes français avec lesquels je fusse en parfaite communion d'idées. J'aimais à m'entretenir avec lui du développement admirable que les doctrines darwinistes allaient imprimer à la morphologie en particulier, à la science en général.

Après une journée de pénibles dragages, récompensés par une récolte particulièrement riche, nous nous étions attardés au laboratoire des allées de Meillan, dans la contemplation admirative des formes merveilleusement adaptées de la faune marine. Et, la nuit venue, dans les ruelles pittoresques qui avoisinent le vieux port, nous devisions longuement encore sur les jouissances intellectuelles que nous procurait la science à laquelle nous avions voué toutes nos énergies.

« Ne pensez-vous pas, me disait Marion, qu'au fond nous sommes des égoïstes et que toute la peine que nous prenons n'est par nous supportée que par l'espoir de satisfactions esthétiques aussi vives que celles que nous avons éprouvées tout à l'heure et que nous éprouvons chaque fois que nous revivons l'œuvre de la nature créatrice ! »

« Peut-être, lui répondis-je, il est certain que pareilles sensations nous rendent indifférents à bien de choses qui font le bonheur du plus grand nombre et même aux plus belles manifestations de l'art humain si inférieures aux spectacles qui nous charment. Ce serait là notre châtiment si nous n'avions le droit de penser que le culte du beau dans la nature nous conduit à la pratique du bien, et que nous collaborons ainsi au grand œuvre de l'heure présente, l'établissement de la religion de l'avenir. »

A. Giard,
de l'Institut,
Professeur à la Sorbonne.

PHYSIOLOGIE

Si la physiologie est, comme la définissent les physiologistes les plus notoires, *la science des phénomènes de la vie*[1], il est regrettable que le mot Biologie ne lui ait pas été préféré, car il est toujours avantageux que la signification étymologique d'une expression coïncide avec son sens réel.

Mais il suffit de lire, entre les lignes, les meilleurs traités de physiologie, pour comprendre que, le plus souvent, les physiologistes divisent artificiellement l'étude de la vie en deux parties complémentaires dont ils se réservent une seule, abandonnant l'autre aux anatomistes. Le professeur Dastre[2] définit la physiologie : l'étude des organismes considérés « dans leur activité », tandis que l'anatomie est l'étude des organismes considérés « au repos ». Une telle distinction, issue d'une comparaison regrettable entre les animaux et les machines industrielles, est loin de satisfaire l'esprit. Elle revient en effet à ceci, pourvu qu'on veuille parler un langage rigou-

1. Dastre. Article *Physiologie*, dans le *Dictionnaire Larousse*.

2. Article cité.

reux, que la physiologie étudie les êtres en train de vivre, tandis que l'anatomie étudie la forme des cadavres frais ou bien conservés. Mais si la physiologie étudiait les organismes « dans leur activité », elle ne pourrait négliger *l'activité morphogène*, qui est sans contredit la plus caractéristique, pour ne pas dire la seule vraiment caractéristique des êtres vivants. L'embryogénie, qui s'occupe des transformations accomplies dans l'individu depuis l'œuf jusqu'à l'état adulte, serait donc une partie de la physiologie, et même la plus importante de toutes ; la description des formes successives de l'être serait à la rigueur abandonnée aux morphologistes considérés comme de purs dessinateurs, mais l'étude des phénomènes par lesquels une des formes dérive de la précédente, étant essentiellement une étude de phénomènes d'activité, serait du domaine de la physiologie; l'évolution des individus et l'évolution des espèces devraient appartenir aux physiologistes, les morphologistes se bornant à photographier, dans tous leurs détails, les apparences successives d'individus sans cesse variables.

Ce n'est pas ainsi que les choses se passent en réalité. Il y a bien des morphologistes qui se contentent de dessiner des pattes d'insectes ou des coquilles de mollusques, mais d'autres, doués d'un esprit plus philosophique, s'appliquent à l'étude des lois morphogéniques; on fait même aujourd'hui de la morphogénie expérimentale, et cette branche nouvelle de l'activité humaine s'annonce comme devant être prodigieusement féconde. Si la division du travail de recherche est rendue nécessaire par la complexité des choses à

étudier, elle est philosophiquement regrettable, et elle a déterminé la création d'un corps nouveau de chercheurs, qui font la synthèse des résultats obtenus dans les diverses branches des sciences naturelles ; ceux-là méritent le nom de biologistes parce qu'ils s'occupent réellement de tous les phénomènes de la vie ; ils suppriment les barrières artificielles élevées pour la commodité de la recherche entre des activités vitales diverses en apparence, mais inséparables dans l'être vivant lui-même.

L'autorité de Claude Bernard a beaucoup contribué à l'établissement de cette classification artificielle des sciences de la nature ; il a affirmé à plusieurs reprises que la construction des organismes est indépendante de leur fonctionnement, qu'elle est « autre chose » ; il a même laissé entendre, qu'elle serait dirigée par des causes dont l'étude n'est pas du ressort de la science. Cette opinion métaphysique a eu énormément de succès, parce qu'elle entretenait le fossé, cher à beaucoup, que la tradition avait creusé entre la vie et la matière brute. En outre elle autorisait pleinement la séparation de la physiologie et de la morphologie ; cette séparation tire d'ailleurs une autre justification de l'habitude, répandue parmi les hommes, de penser de préférence aux animaux adultes, chaque fois qu'il est question de la vie. On appelle en effet *adultes* les animaux qui sont, comme disent les auteurs, « arrivés au terme de leur développement[1] » ; c'est-à-dire que, chez ces animaux et pendant un temps plus ou moins

1. Lamarck. *Philosophie zoologique.*

long suivant les cas, les changements morphologiques sont insignifiants, quoique leur « fonctionnement » soit plus actif que jamais. Il est donc tout naturel d'étudier le fonctionnement d'une part, la structure du mécanisme d'autre part. Claude Bernard a été plus loin. Entraîné par sa comparaison instinctive des animaux et des machines industrielles, il a affirmé *a priori*, ce qui est toujours une erreur de méthode dans les sciences de la nature, que le fonctionnement use les organes de l'homme comme les bielles des locomotives. Alors, le fonctionnement fini, une activité nouvelle entre en jeu, activité mystérieuse et intelligente, qui répare les désordres causés par l'usure due au fonctionnement, et rend au mécanisme son intégrité.

Dans une physiologie ainsi conçue, on se borne à étudier les modifications imposées par l'organisme aux ingrédients *étrangers* dont il se sert, aliments introduits par la voie digestive ou la voie respiratoire, réserves accumulées dans les tissus par des activités antérieures ; on suit les transformations de ces ingrédients étrangers jusqu'à leur incorporation aux parties vivantes de l'organisme, et jusqu'à cette incorporation *exclusivement ;* ou bien, au contraire, on étudie les déchets de l'activité vitale, déchets que constituent les substances excrémentitielles ou les substances de réserve, mais que l'on étudie après leur séparation d'avec la substance vivante ; en d'autres termes on s'occupe de ce qui entre dans la machine et de ce qui en sort ; ou bien, quand il s'agit des réflexes par exemple, on s'essaie à décrire les phénomènes apparents du fonctionnement individuel, mais sans se préoccuper

des conséquences que peut avoir ce fonctionnement pour le mécanisme lui-même, des modifications qui en résultent et qui font que le mécanisme vivant, indépendamment des substances étrangères, réserves ou autres, qui l'encombrent, est différent après avoir fonctionné de ce qu'il était précédemment. En résumé, quoique la physiologie fût définie la science des phénomènes de la vie, elle s'est bornée longtemps à l'étude de ce qui est accessoire à la vie, ou au moins à l'observation du fonctionnement actuel d'un mécanisme vivant, sans se préoccuper de ce qui est le plus caractéristique dans la biologie, savoir les liens qui unissent l'organisme, considéré après un fonctionnement, au même organisme considéré avant ce fonctionnement. C'était là une conséquence fatale de la manière de voir du père de la physiologie, qui séparait *a priori* le fonctionnement et l'évolution individuelle.

Malgré l'autorité de Claude Bernard, d'audacieux savants, guidés par des idées préconçues ou mis sur la voie par un hasard heureux, ont inauguré toute une série de recherches dans lesquelles, sans négliger l'étude des ingrédients et de leurs transformations, ils se sont surtout attachés à mettre en évidence, par tous les moyens possibles, les transformations qui résultent, chez un organisme donné, d'un fonctionnement exécuté dans des conditions données.

Car ces transformations existent, même chez les adultes ! On savait bien depuis longtemps qu'un homme adulte grossit les muscles de ses bras en se livrant au métier de forgeron ; on savait qu'à force de répéter la même chose, on l'apprend, et on arrive à l'exécuter sans effort ;

tout cela était bien connu, et Lamarck, le père de la Biologie, en avait prévu l'importance pour l'étude de la vie. L'immunité avait été découverte par Jenner et généralisée par Pasteur ; là encore une merveilleuse découverte était sortie du fait que, au lieu de se borner comme les médecins à décrire les manifestations actuelles des maladies, des hommes de génie s'étaient préoccupés des transformations, morphologiquement si peu apparentes, qui sont, chez les malades guéris, la conséquence même de la maladie passée.

Il a fallu, cependant, des recherches systématiques, poursuivies avec l'appareil ordinaire des travaux de la physiologie, pour que les physiologistes de profession comprissent la grandeur du nouveau champ d'investigation, et s'aperçussent que ce champ leur appartenait. Si les transformations résultant des maladies n'avaient été constatables que chez les êtres vivants eux-mêmes, cela aurait beaucoup moins frappé ; mais les malades guéris peuvent fournir, dans certains cas, des produits transportables *in vitro* et qui peuvent manifester *in vitro* la transformation dont leur producteur a été le siège. Oh ! alors c'est devenu très important, car les physiologistes, quoiqu'étudiant « les phénomènes de la vie » ne sont jamais si satisfaits que lorsqu'ils font, dans des verres à expérience, des observations ressemblant à celles de la chimie des corps bruts.

La sérothérapie et l'expérience fondamentale de Bordet[1] ont ouvert à la physiologie sa voie

1. Bordet a injecté du lait de vache dans le péritoine d'un lapin ; l'absorption effectuée, le lapin a acquis une propriété spécifique vis-à-vis du lait de vache, et du lait de vache seulement. V. *Eléments de philosophie biologique.*

véritable, qui est celle de l'étude de la vie elle-même et non des phénomènes accessoires à la vie. Evidemment, il était indispensable d'étudier les transformations des aliments ingérés par l'organisme, mais il était indispensable aussi d'étudier les transformations de l'organisme ayant digéré et assimilé les aliments. L'animal est plus intéressant que ce qu'il consomme, du moins pour le physiologiste.

Grâce à la nouvelle méthode d'investigation, la physiologie de l'adulte, avec ses transformations incessantes et susceptibles d'être mises en évidence par des procédés rigoureux, n'est plus, malgré ses minimes modifications morphologiques, qu'une sorte d'embryologie continuée.

Enfin, grâce aux observations sur l'immunité, grâce à la sérothérapie, à l'expérience de Bordet, et à tout ce qui en est résulté, la physiologie a aujourd'hui une méthode qui lui est propre ; elle se contentait autrefois des méthodes de la physique et de la chimie. Voici, par exemple, un nouveau passage emprunté à l'article précédemment cité du professeur Dastre :

« On sait que les sciences sont caractérisées par leur objet et par leur méthode. L'objet de la physiologie est l'explication des phénomènes de la vie, c'est-à-dire leur réduction aux lois générales des phénomènes naturels, physiques, chimiques, considérés comme plus simples. De là la définition, un peu étroite, donnée quelquefois de la physiologie : la physique et la chimie des corps vivants. Sa méthode est la méthode expérimentale. »

Il me semble dangereux d'affirmer *a priori* que l'objet de la physiologie est la réduction des

phénomènes de la vie aux phénomènes de la physique et de la chimie[1]. C'est après coup, après avoir étudié, en toute impartialité, les phénomènes vitaux, qu'on peut apercevoir la possibilité de les réduire à des phénomènes physiques et chimiques. Je suis convaincu, pour ma part, qu'une telle réduction est possible ; mais je ne crois pas que ce soit là l'avis de la plupart de mes contemporains. Presque tous soutiennent au contraire, et cela a été de tout temps l'opinion régnante, que la vie n'est pas entièrement analysable en phénomènes physiques et chimiques.

Que la méthode de la physiologie soit la méthode expérimentale, cela ne caractérise pas cette science, puisque la méthode expérimentale est commune à toutes les sciences de la nature. La physiologie ne serait donc définie que par son objet, qui est l'étude de la vie, si des expérimentateurs récents n'avaient imaginé une méthode qui lui est propre et qui ne peut pas s'appliquer à l'étude des substances brutes.

Cela n'empêche pas que beaucoup de questions appartenant au domaine de la physiologie soient abordables par les méthodes ordinaires de la physique et de la chimie ; c'était même toujours le cas, avant ces dernières années, pour presque toutes les questions abordées par les physiologistes, puisque les physiologistes étu-

1. Et en effet, la plupart des physiologistes ne font cette réduction que pour une partie des phénomènes vitaux ; ils se servent même, ensuite, de ce premier résultat pour établir plus aisément l'existence d'un fossé infranchissable entre la physico-chimie et une autre partie des manifestations vitales.

diaient surtout les ingrédients avant leur incorporation à l'être vivant ou les substances excrémentitielles après leur élimination. Ils faisaient la chimie de substances relatives à la vie de l'individu, sans étudier la vie même de l'individu.

Aujourd'hui, la physiologie a une méthode propre, c'est-à-dire une méthode qui s'applique à elle et à elle seule. Cela ne prouve pas néanmoins qu'il y ait dans la vie des phénomènes non réductibles à la physique et à la chimie. Supposons qu'on ait trouvé un réactif spécifique de la fonction alcool primaire, réactif qui décèlerait tous les alcools primaires et eux seuls, où qu'ils fussent ; cette découverte aurait créé une science à part, la science de la fonction alcool primaire, qui aurait son objet et sa méthode propres ; cela n'empêcherait pas d'ailleurs qu'il fût très possible d'étudier, et nous savons le faire aujourd'hui, les alcools primaires comme les autres corps de la chimie ; mais le réactif spécifique serait plus commode et d'un emploi plus rapide.

De même pour la vie.

La méthode propre de l'étude de la vie se tirerait avec quelque réflexion de la définition même qu'une simple observation superficielle permet de donner de la vie :

La vie est un phénomène qui continue.

Nous établissons en effet une antithèse entre ce qui est vivant et ce qui est mort, et nous appelons naturellement phénomène vital, celui qui a pour résultat la conservation de la vie. C'était, somme toute, la définition de Bichat : « La vie est l'ensemble des fonctions qui résistent à la mort ; » et il suffit de réfléchir un peu pour voir qu'il n'y avait là qu'une définition de mot, pou-

vant sans danger se faire *a priori*. On voit en même temps combien est regrettable le paradoxe « la vie c'est la mort », auquel l'autorité de Claude Bernard a donné une si néfaste célébrité.

Un phénomène vital étant essentiellement un phénomène qui permet à la vie de continuer, ou qui, du moins, ne l'en empêche pas, une condition expresse de toute expérience faite sur un être vivant, sera que cette expérience ne tue pas l'individu sujet de l'expérience. Evidemment, il n'est pas sans intérêt de savoir que telle substance, employée à telle dose et de telle manière, a causé la mort d'un animal de telle espèce ; c'est un renseignement utile ; mais il ne nous fait pas faire un pas dans l'étude de la vie ; ce n'est pas un résultat physiologique d'importance générale. On mettra donc en présence, d'une manière bien déterminée, un réactif connu[1] et un être vivant. On observera la réaction et on la décrira autant que possible ; si l'être reste vivant, et sans négliger pour cela l'étude chimique que faisaient les anciens physiologistes des transformations du réactif employé, on s'attachera principalement à mettre en évidence, d'une manière convenable, les modifications qui sont résultées *pour le vivant*, de la réaction à laquelle il a été soumis.

C'est ici que se présente une méthode dont la généralité est merveilleuse et la précision extraordinaire. Alors que, observé par un chercheur

1. Ce réactif n'est pas forcément chimique : il peut être mécanique ou physique ; ce peut être par exemple une radiation ou même un ensemble complexe de phénomènes ambiants. La seule condition est que ce réactif soit *connu*.

non prévenu, l'être vivant, qui a été l'objet d'une réaction, ne semble pas avoir subi de modification sensible, alors que l'emploi des réactifs les plus habituels de la chimie ne donne aucun résultat, il y a un moyen de mettre en évidence, presqu'à coup sûr, la transformation de l'animal sujet; *ce moyen consiste à prendre, pour réactif de l'animal transformé, le corps même qui a déterminé la transformation.* Les exemples illustrant cette méthode sont aujourd'hui très nombreux.

Si l'on a inoculé des bactéridies charbonneuses à un mouton, et si le mouton a guéri, on constate que le mouton, semblable en apparence à ce qu'il était précédemment, a varié *par rapport aux bactéridies charbonneuses;* il est doué vis-à-vis d'elles d'une immunité plus ou moins durable. Soumis à une nouvelle inoculation, il ne sera pas malade ou du moins ne sera pas aussi malade que la première fois, et des observateurs superficiels pourraient voir là une exception au déterminisme physiologique, puisque le même mouton, traité une seconde fois par les mêmes bactéridies, ne réagit plus de la même manière. Mais ce n'est plus le même mouton.

Autre exemple: Si l'on injecte du lait de vache dans le péritoine d'un mammifère, manière peu habituelle de nourrir un animal, le mammifère digère et assimile ce lait, pourvu qu'on ne lui en ait pas injecté trop. Et il paraît semblable à lui-même après l'opération. Mais une différence se manifeste cependant *par rapport au lait de vache*, car le sérum de cet animal donne, dans un verre, un précipité avec le lait de vache, et *avec le lait de vache seulement.*

Dans cette dernière expérience, la réaction

prouvant la transformation consécutive à l'injection de lait de vache *se passe dans un verre*, et prend ainsi plus de ressemblance avec les expériences de l'ancienne physiologie. Elle nous donne d'ailleurs, par là même, une notion nouvelle qui est à mon avis l'une des bases de la future physiologie générale.

L'animal auquel on a injecté du lait de vache a subi une modification relativement au lait de vache, mais en outre, nous savons transporter *in vitro* une partie détachée de l'animal, une partie fluide et *morte*, le sérum qui contient le reflet de la transformation subie. En d'autres termes, une propriété, acquise par un être vivant à la suite d'une réaction dont il est sorti vivant, peut être transportée, partiellement au moins, dans un verre à expérience, où l'on saura étudier cette propriété comme appartenant à une substance morte.

On voit immédiatement l'intérêt capital d'une telle remarque ; elle permet d'envisager comme possible l'analyse *effective* de l'activité d'un être vivant en ses diverses propriétés, et de transporter dans un verre, au moyen de substances mortes extraites de l'animal, une partie au moins des propriétés dont la superposition réalise la vie de l'animal lui-même. En attendant que ce rêve se réalise, l'animal vivant nous fournit lui-même le réactif de la modification qu'il a subie, dans les cas où cette modification a entraîné dans son état des troubles morbides, puisque, dans beaucoup de cas, il acquiert par suite de ces troubles mêmes une immunité particulière relative à l'agent qui l'a rendue malade.

Il n'y a d'ailleurs qu'une différence de degré

entre les troubles appelés *maladies* et les modifications apportées à l'animal par l'introduction dans son intérieur d'une substance alimentaire. Si l'on essaie de donner une définition précise de la maladie, on s'aperçoit rapidement que c'est impossible. Une maladie étant une période de trouble, de transformation d'un état précédent en un état suivant, il n'y aura pas de ligne de démarcation entre ce qu'on appelle phénomène physiologique et ce qu'on appelle phénomène pathologique ; pathologie et physiologie deviendront synonymes, puisque, en réalité, l'organisme vivant varie sans cesse depuis sa naissance jusqu'à sa mort. En disant que la méthode proprement dite de l'étude de la physiologie est la *méthode pathologique*, on voudra dire seulement que le côté par lequel est abordable l'étude proprement dite de l'individu vivant est le côté changement, le côté transformation, le côté évolution ; et cela est tout à fait d'accord avec la définition nécessaire de la vie : La vie est un phénomène qui continue ; un phénomène vital est un phénomène qui a pour résultat la conservation de la vie.

*
* *

Une fois le sérum transporté dans un verre à expérience, l'étude qu'on en fait, n'est plus à proprement parler, de la physiologie. On traite ce sérum par des réactifs appropriés, par des substances chimiques, par des liquides organiques empruntés à d'autres animaux, voire même par d'autres animaux ou végétaux vivants ; ce n'est plus l'étude de la vie que l'on fait, mais l'étude d'une substance morte extraite d'un corps

vivant. On a ramené à des recherches physico-chimiques l'étude d'une variation résultant d'un phénomène vital et représentée, en tout ou en partie, dans le sérum de l'être observé.

*
* *

A côté de la physiologie proprement dite, il y a donc des sciences accessoires qui lui sont indispensables ; ce sont la physique, la chimie, et j'ajouterai, surtout la chimie-physique ; ces sciences accessoires ont leurs méthodes propres, et leurs méthodes ne changent pas quand on les applique à des substances extraites des corps vivants. On leur donne cependant alors des noms particuliers ; on dit la chimie biologique, la physique biologique, la chimie physique biologique. Mais ces noms particuliers sont relatifs à leur objet et non à leur méthode ; nous n'avons pas à nous en occuper dans cet article sur la méthode en physiologie.

Jusqu'à ces derniers temps, on peut affirmer sans trop de hardiesse que les physiologistes faisaient seulement de la chimie, de la physique et de la chimie physique *biologiques*. Même les expériences sur le système nerveux, sur les réflexes provoqués par des excitations pouvaient à un certain point de vue être considérées comme de pures expériences de physique biologique ; on ne s'y occupait pas des modifications apportées par chaque réflexe à la structure de l'individu, mais seulement de la distribution d'un influx nerveux à travers un système de neurones considéré dans son état actuel, c'est-à-dire à travers un système physiquement défini, quoique devant sa

structure à la vie de l'animal qui le portait; dans certaines conditions, les mêmes expériences auraient pu réussir de la même manière chez un animal convenablement tué.

La partie si importante de l'ancienne physiologie, l'étude des aliments et des substances excrémentitielles, l'étude des transformations des aliments dans le tube digestif, tout cela était de la chimie biologique ou plutôt de la chimie-physique biologique.

Car il faut bien s'en rendre compte aujourd'hui, le mot chimie est rarement applicable quand il s'agit de l'être vivant ou de ses produits; les *liquides organiques*, sérum, lait, urine, etc., ne sont pas des liquides, mais des colloïdes, c'est-à-dire des substances plus ou moins fluides et qui transportent avec elles, outre les propriétés chimiques de leurs éléments constituants, des propriétés physiques extrêmement importantes, tenant aux relations qu'ont entre elles, et avec le liquide où elles baignent, les particules qui réalisent, par définition, l'état colloïdal.

Aujourd'hui, de l'avis de tous les physiologistes, la plus essentielle des sciences annexes de la physiologie est la chimie-physique qui étudie précisément les colloïdes et leurs transformations. Parmi ces colloïdes, quelques-uns sont particulièrement célèbres à cause de leur prodigieuse activité relativement à d'autres colloïdes; on les appelle des *diastases*.

Les diastases sont des corps colloïdes capables d'imposer à d'autres colloïdes une particularité de leur état physique personnel; telle la présure qui fait cailler le lait. Et ce qui rend plus importantes ces actions physiques des diastases, c'est

que, bien souvent, la modification physique introduite par elles dans un colloïde a une répercussion chimique sur la structure même des éléments constitutifs de ce colloïde. Telle par exemple la sucrase qui, agissant sur l'état physique d'une solution de saccharose, détermine par là même la transformation chimique appelée *interversion*. Avant de soupçonner l'existence des états colloïdaux, on avait considéré les diastases déjà connues, comme ayant uniquement et directement une action chimique.

L'étude des diastases et des colloïdes en général est, je le répète, du ressort de la chimie physique, quoique le plus souvent, les colloïdes étudiés soient extraits des animaux et des végétaux ; il ne faudrait pas cependant généraliser, et l'on étudie aujourd'hui de nombreux colloïdes très intéressants et d'origine inorganique. Mais même quand les colloïdes sont organiques, leur étude est une étude de chimie physique et non une étude de physiologie; les recherches relatives à la coagulation du sang, dans les verres à expérience, sont des expériences de chimie physique et se font par les méthodes de la chimie physique. La coagulation du sang est d'ailleurs un phénomène de mort et non un phénomène de vie.

Mais si l'étude des diastases et des colloïdes en général est du ressort de la chimie physique, l'étude des phénomènes qui se passent, quand on les fait agir sur un être vivant, qui reste vivant, est une étude de physiologie. Encore, pour parler rigoureusement, ne doit-on considérer comme d'ordre physiologique, que les transformations dont l'être vivant est l'objet sous leur influence; les transformations dont les colloïdes ont été

atteints dans leur passage à travers l'être vivant restent encore du ressort de la chimie physique.

Une remarque déjà faite plus haut donne cependant une importance particulière aux diastases, au moins en tant qu'elles sont produites par les êtres vivants, restant vivants après avoir réagi contre ce colloïde vivant ou non vivant. Ces diastases peuvent être considérées, ainsi que je l'ai montré ailleurs [1], comme des colloïdes qui transportent avec eux une partie de l'activité vitale propre à l'être qui les a produites. Etudier les diastases, quoiqu'elles soient des substances mortes, c'est donc étudier l'un des éléments réels de la vie individuelle ; c'est étudier l'un des facteurs de la vie analysée en ses facteurs actifs. Là une étude qui est purement du ressort de la chimie physique est en même temps rigoureusement physiologique.

Si cette analyse en diastases transportables s'étendait à toutes les propriétés des êtres vivants sans exception, la physiologie disparaîtrait en tant que science propre, et ne serait plus qu'une branche de la chimie physique, c'est-à-dire qu'on pourrait faire en chimie physique l'étude complète de la vie, comme on peut faire en chimie l'étude complète de la fonction alcool primaire. On n'en conserverait pas moins le mot vie, de même qu'on conserve le mot alcool primaire, et le nom de physiologie aurait encore une raison d'être, représentant toutes les expériences dans lesquels on observe, dans leur ensemble, les phénomènes de la continuation de la vie.

Une telle analyse est d'ailleurs encore loin

1. *Éléments de philosophie biologique*, F. Alcan, 1907.

d'être complète, et ne le sera probablement jamais. Il n'y a pas que des réactions contre des colloïdes dans le fonctionnement des êtres vivants[1] ; tout ensemble de facteurs ambiants qui intéresse la vie d'un organisme détermine chez celui-ci une réaction, un fonctionnement dont le résultat est une modification, souvent très complexe, de la structure de l'individu. La vie tout entière peut donc se décomposer en une série de *vies successives*, dont chacune peut et doit s'appeler le *fonctionnement individuel* à chaque instant. La physiologie proprement dite est l'étude de ces fonctionnements successifs et, plus particulièrement, du résultat de ces fonctionnements pour l'individu qui, en étant le siège, continue à vivre.

L'ancienne physiologie se préoccupait fort peu de ces transformations, et c'est pour cela que Claude Bernard avait émis *a priori* l'axiome de la destruction fonctionnelle, la séparation absolue entre le fonctionnement qui use l'organisme et le phénomène mystérieux qui le construit ou le répare. C'est là à mon avis un contre-sens physiologique, et j'ai essayé dans de nombreux ouvrages, d'y substituer la loi d'*assimilation fonctionnelle*[2], qui veut que tout fonctionnement soit constructif. La découverte de la sérothérapie, le phénomène de Bordet, ont donné depuis, me semble-t-il une démonstration inattaquable de cette loi, et je ne vois pas de raison, puis-

1. Dans un ouvrage récent, *Science et Conscience*, chap. v, j'ai montré l'avantage que l'on trouve à raconter dans le langage employé pour l'expérience de Bordet, les phénomènes d'imitation déterminés dans les êtres vivants par la résonance des vibrations ambiantes.

2. *Théorie nouvelle de la Vie*. Paris, F. Alcan, 1896.

qu'elle est démontrée vraie dans les cas où le réactif causant le fonctionnement est un colloïde vivant ou mort, pour que l'on conserve l'axiome de Claude Bernard dans les autres cas de fonctionnement. Pour ces autres cas d'ailleurs, la sagesse des nations avait depuis longtemps établi la loi d'habitude, dont Lamarck a tiré tant de profit dans l'explication de la formation des espèces. J'ai longuement traité cette question dans un ouvrage récent[1]; j'y renvoie le lecteur pour les détails.

De toutes ces considérations il résulte que la physiologie, répondant à la définition précise de science des phénomènes de la vie, a une méthode propre, une méthode dont l'emploi permet de caractériser dans chaque cas l'existence de la vie chez les êtres les plus différents. Chez tous, animaux ou végétaux, l'emploi d'un réactif quelconque détermine l'accoutumance quand il ne produit pas la mort.

Vivre, c'est s'habituer.

Dans chaque cas, le phénomène d'accoutumance est peu marqué chez l'individu qui en est l'objet, sauf quand on emploie, pour le déceler, *le réactif même qui a déterminé la production de l'accoutumance*. Lorsque ce réactif a été d'ordre mécanique ou d'ordre purement chimique, il est difficile de montrer l'habitude obtenue, autrement qu'en faisant réagir de nouveau l'animal et le réactif. Tel est le cas de l'accoutumance au métier de forgeron ou à l'absorption de doses croissantes de morphine. Mais quand le réactif est un colloïde, une particularité nouvelle se manifeste; il est le plus souvent possible de

1. *Éléments de philosophie biologique*, op. cit.

transporter dans des colloïdes morts extraits de l'animal, la propriété nouvelle acquise par la réaction étudiée. C'est même là ce qui réalise, jusqu'à ce jour, la seule méthode vraiment naturelle pour analyser le phénomène vital en ses éléments constitutifs.

Pour la commodité du langage, et à cause de la difficulté des études d'ensemble sur des corps aussi complexes que les êtres vivants, on convient le plus souvent d'utiliser une méthode d'analyse tout à fait artificielle. On divise le corps en organes, on divise le fonctionnement total en fonctions partielles, mais les organes ainsi définis et les fonctions correspondantes ne forment jamais des touts complets. On donne le nom de physiologie spéciale à l'étude, volontairement limitée, de l'un de ces organes ou de l'une de ces fonctions ; on arrive même, ce qui est tout à fait peu scientifique, à donner une définition anatomique des organes ; l'organe ne peut être défini que physiologiquement, par la fonction qu'il exécute. Il vaut mieux d'ailleurs, quand cela est possible, ne jamais séparer un organe du reste du corps, ou du moins, ne jamais oublier qu'il n'existe qu'en tant que partie conventionnellement délimitée dans un mécanisme d'ensemble.

*
* *

Si la physiologie possède aujourd'hui une méthode propre, on a néanmoins pu faire de la physiologie par des méthodes copiées sur celles de la physique et de la chimie ; c'est-à-dire que, par des méthodes applicables à un tout autre ordre de phénomènes, on a pu découvrir des

résultats qui intéressent vraiment l'étude de la vie. On a étudié les corps vivants au point de vue chimique et au point de vue énergétique.

Tout organisme, animal ou végétal, est formé d'éléments chimiques, que l'on peut reconnaître et peser. Il est utile d'apprendre, par des études purement chimiques, que tout être vivant se compose de carbone, d'azote, d'hydrogène, d'oxygène, etc. Cela donne une première indication, bien vague à la vérité, sur la nécessité du choix des substances au moyen desquelles, à partir de l'œuf ou de la spore, un être d'une espèce donnée peut se construire en entier.

On donne le nom d'*aliments* à ces substances nécessaires à la construction de l'organisme, pendant la période de croissance, et à sa conservation à l'état de santé, pendant sa période adulte. C'est par suite de tâtonnements nombreux que l'on est arrivé à déterminer, pour chaque espèce, la ration alimentaire la mieux appropriée aux divers moments de la vie. La découverte de Lavoisier, sur la nécessité de l'oxygène, a été la première dans cet ordre d'idées. Les individus de chaque espèce ont d'ailleurs, grâce à l'expérience recueillie par leurs ancêtres, un instinct assez sûr qui les guide dans le choix des aliments, parmi ceux qui se trouvent à leur disposition depuis un grand nombre de générations. Le plus souvent les physiologistes ont eu avantage à s'en tenir à l'observation de ces instincts héréditaires; mais ils ont pu aussi, dans certains cas, découvrir l'utilité d'aliments nouveaux empruntés à l'industrie moderne.

Le plus admirable travail fait dans ce sens, par un pur chimiste, est sans contredit celui de *Raulin* sur l'*aspergillus niger*. Il est arrivé à

constituer un mélange en proportions définies de substances chimiquement connues, qui réalise pour cette moisissure un milieu de culture très supérieur à tous les milieux naturels. Mais il faut avouer que de tels résultats sont rares dans la science.

Cette méthode des pesées chimiques, quoiqu'indispensable dans beaucoup de cas, n'est pas extrêmement favorable à l'étude directe des phénomènes vitaux proprement dits. J'ai pu cependant, en m'appuyant uniquement sur des données de cet ordre, établir en 1896 une équation chimique du phénomène élémentaire de la vie[1]; et même, en réfléchissant aux divers cas d'activité chimique possibles dans un être vivant, je suis arrivé à deviner la loi d'assimilation fonctionnelle, dont la démonstration directe n'a été donnée que plus tard quand on a découvert la méthode naturelle de la physiologie.

L'étude récente des colloïdes a étendu le domaine de cette analyse chimique; car, somme toute, dans beaucoup de cas, les méthodes appliquées à l'étude des colloïdes sont analogues à celles de la chimie, parce que les colloïdes ont en commun avec les corps chimiques, la propriété de transportabilité. Mais la connaissance des colloïdes nous a également mis en garde contre l'habitude de donner trop d'importance à l'analyse chimique proprement dite. Deux colloïdes formés des mêmes éléments chimiques dans les mêmes proportions peuvent, en raison de leur état physique, en raison de leur rythme particulier[2],

1. V. *Théorie nouvelle de la vie*. Paris, F. Alcan, 4e éd.
2. V. *De l'homme à la science*. Flammarion, 1907.

être, pour une espèce donnée, le premier un aliment, le second un poison mortel. Les progrès de la physiologie sont liés désormais aux progrès de la chimie physique et à ceux de l'étude des colloïdes en particulier. Les études de chimie physique faites dans le domaine des microbes et des levures ont déjà donné des résultats extrêmement considérables.

*
* *

Si l'animal est formé d'éléments chimiques, s'il est, par suite, susceptible d'une étude chimique comme nous venons de le dire, il est également un mécanisme; et son fonctionnement donne des résultats extérieurs à lui, résultats que l'on résume d'un mot en disant qu'il a *travaillé*. La production de travail ne se fait jamais avec rien; il faut dépenser du combustible pour faire marcher une locomotive; il faut aussi dépenser des aliments pour faire travailler un cheval ou un bœuf. Le principe de la conservation de l'énergie veut que l'on retrouve intégralement dans les résultats d'une expérience toutes les quantités d'énergie qui ont été mises en jeu. Ce qui a été fourni sous forme chimique ou calorifique peut se retrouver sous forme mécanique ou sous toute autre forme, mais nous connaissons des principes d'équivalence qui, grâce à des coefficients connus d'avance, nous permettent d'écrire l'équation énergétique d'un phénomène quelconque, lorsque nous en connaissons tous les éléments initiaux et terminaux. On s'est donc préoccupé d'étudier, au point de vue énergétique, les divers fonctionnements des animaux et des plantes;

mais on s'est heurté à des difficultés sans nombre et de grandes erreurs ont été commises.

Si l'on savait exactement en quelles substances s'est transformé un aliment donné en traversant un organisme, on pourrait, en consultant les données de la thermochimie, connaître la valeur énergétique de cet aliment pour l'individu étudié. On en retrouve bien une partie dans les substances excrémentitielles qui ont été recueillies; mais qui sait si des substances de réserve, préexistant au sein des tissus vivants de l'animal, ne sont pas entrées en réaction, elles aussi, et n'ont pas collaboré à la production de ces substances excrémentitielles ? Qui sait si, au contraire, de nouvelles substances de réserve, cachées au sein des tissus, ne sont pas provenues d'une partie des aliments utilisés? Qui mesurera surtout la transformation opérée dans les tissus vivants eux-mêmes pendant le fonctionnement étudié ? Cette transformation a pu consister, suivant les cas, en une formation de tissus nouveaux mesurable à la rigueur par la balance, ou en une simple modification de l'état colloïde de certains éléments, modification qui, tout en ayant une valeur énergétique, n'est pas plus sensible à la balance que la tension du ressort d'une montre! Tout cela crée des difficultés presque insurmontables, au moins pour la physiologie des grands animaux. C'est ainsi que les physiologistes n'ont pas pu se mettre d'accord au sujet de la valeur alimentaire de l'alcool dans l'espèce humaine! Et d'ailleurs, un aliment peut avoir une valeur chimique, une valeur constructive, déterminant par exemple un développement embryologique très rapide, et avoir une valeur énergétique tout

autre comme aliment permettant d'exécuter un travail. Tout cela est encore bien obscur. Il faudra faire à ce sujet des expériences extrêmement prolongées.

La chimie et la physique biologiques sont encore dans l'enfance; elles ne devront d'ailleurs jamais oublier, pour que leurs résultats soient acceptables en physiologie, cette loi fatale qui domine tous les phénomènes vitaux et qui est comme le leit motiv de la biologie. Tout être qui vit change par cela même qu'il vit; tout être qui fonctionne subit un changement qui résulte de son fonctionnement et est dirigé par lui. On ne peut pas faire faire deux fois de suite la même chose à un même animal, *car ce n'est plus le même mécanisme*[1].

*
* *

Puisque la physiologie est l'étude des phénomènes de la vie, elle comprend sans conteste la psychologie qui est même, pour beaucoup de gens, la science des phénomènes les plus importants de la vie ; mais la psychologie a une méthode à part qui en fait une science à part. Le psychologue étudie ses propres sentiments et ses propres associations d'idées; il les étudie d'une manière qu'il est seul à pouvoir employer, d'une manière subjective. La psychologie proprement dite est donc une science dont l'objet est l'observateur lui-même, observé au moyen de son sens

1. Les dimensions restreintes de cet article ne me permettent pas de parler des questions d'hérédité et de sexualité; mais je fais remarquer que la question des caractères acquis est traitée dès qu'on s'est occupé de l'assimilation fonctionnelle.

intime. Cependant on fait de la psychologie des autres hommes, on fait même de la psychologie animale et comparée ; mais il y a toujours, dans ce genre d'études, une part d'hypothèse invérifiable, puisque, en fait, le psychologue observe seulement les mouvements des animaux, et leur prête ensuite, par comparaison, des états d'âme analogues aux siens.

Quand on étudie la psychologie d'un être autre que soi-même, on étudie en réalité quelque chose d'objectif : on fait de la physiologie que l'on raconte en langage psychologique.

Peut-être arrivera-t-on bientôt à la raconter en langage physiologique ! Il suffira pour cela de connaître tous les mouvements et tous les changements d'état colloïde qui se font dans les cerveaux, dans les systèmes nerveux des animaux. Alors on ne sera plus obligé de faire une hypothèse pour raconter les phénomènes cérébraux des individus autres que soi-même.

Bien plus, appliquant à soi-même la méthode d'analyse objective que l'on aura d'abord employée pour les autres, on arrivera à raconter en langage physiologique ou objectif, tout ce qui se passe en soi ; et comme on le connaîtra, d'autre part, en langage psychologique, on pourra établir un parallèle entre les deux modes de connaissance, un dictionnaire permettant de traduire la physiologie en langage psychologique et la psychologie en langage physiologique. Mais la psychologie n'en restera pas moins une science distincte, ayant une méthode distincte.

F. Le Dantec,
Chargé de cours à la Sorbonne.

SCIENCES MÉDICALES

Si l'humanité dure assez longtemps, un moment viendra sans doute où les savants trouveront l'explication mécanique de tous les phénomènes. Il n'y aura plus que deux ordres de sciences. La science des nombres et ses applications à la mécanique. La science des nombres sera la langue scientifique. La mécanique comprendra quatre grandes classes : la mécanique des astres ; la mécanique des grains colloïdaux et des molécules, qui correspondra à peu près à notre physique ; la mécanique des atomes qui représentera notre chimie et la mécanique de corpuscules encore plus petits qui expliquera ce que l'on considère actuellement comme des corps simples.

Il sera alors tout à fait évident qu'il n'y a qu'une méthode scientifique.

On distingue actuellement des sciences rationelles, des sciences d'observation et des sciences expérimentales. Cette distinction correspond à la manière dont on enseigne les mathématiques et aux méthodes de travail de l'astronomie, de la physique, de la chimie, de la biologie. Elle a l'inconvénient d'admettre implicitement qu'il existe dans le cerveau de l'homme certains prin-

cipes préexistants à toute expérience, de sorte que, dans cette simple division, il y a un acte de foi inconscient.

L'observation est la base de toutes les sciences. Il n'y a pas d'autre manière de connaître la nature que de l'observer. Les relations des nombres entre eux ont elles-mêmes été constatées par l'observation et l'expérience.

La première fois que des hommes ont voulu partager un certain nombre de fruits, ils ont commencé par en prendre chacun un, puis deux, puis trois, jusqu'à ce que le tas fût épuisé.

Ils ont procédé par la méthode expérimentale.

La géométrie aussi est une science d'observation. On l'enseigne et on peut la développer par une série de raisonnements déductifs, mais ce n'est pas ainsi qu'elle s'est constituée quand les premiers pâtres devenus sédentaires ont senti la nécessité de mesurer exactement la surface du sol fertile. Ayant taillé dans quelque peau de bête un morceau qui leur a servi de mesure, ils l'ont appliqué sur la surface à mesurer pour voir combien de fois il y était contenu. Ils ont procédé par la méthode expérimentale.

Les bases de la géométrie sont des notions d'une extraordinaire simplicité. En les appelant des postulats ou des axiomes, on les a enveloppés de mystères. Certains les considèrent comme des principes déposés dans la raison humaine par un être omniscient. D'autres, à l'esprit plus purement mathématique, n'ayant confiance que dans la logique, ont cherché à en donner des démonstrations. Aucun effort n'arrivera jamais à faire admettre par un esprit non prévenu qu'il y ait le moindre mystère dans cette notion si

simple que la ligne droite est le plus court chemin d'un point à un autre. C'est un fait d'expérience.

Si les mathématiques et la géométrie peuvent être enseignées par une série de déductions, c'est que les notions expérimentales sur lesquelles elles reposent sont très simples et très sûres. De notions aussi solides, on peut tirer des conséquences certaines. La constatation répétée de l'exactitude des conséquences a donné confiance dans le raisonnement. Le premier géomètre qui a remarqué les rapports simples des côtés et des angles d'un triangle a commencé, je suppose, par vérifier au moyen de mensurations répétées que sa déduction était juste, c'est-à-dire qu'il a soumis son raisonnement au contrôle de l'expérience. Par la conformité constante des conclusions du raisonnement et des résultats de l'expérience, la logique s'est constituée. Ses lentes acquisitions se sont héréditairement transmises et elles sont incorporées au patrimoine héréditaire de l'humanité depuis si longtemps que l'on perd facilement de vue leur origine.

La logique, et j'entends par là le raisonnement déductif, car je ne crois pas qu'il y ait d'autre manière de raisonner, est ainsi devenue un instrument puissant. Mais elle ne peut conduire à la vérité qu'à la condition de l'avoir pour point de départ. Certains esprits habitués au raisonnement mathématique semblent croire que la logique crée la vérité, et, appliquant leur méthode à des questions biologiques, ils arrivent aux plus grossières erreurs.

La logique n'enfante pas la vérité; elle la dégage seulement et à la condition d'avoir un point de départ sûr.

Si les sciences étaient arrivées à la phase que je disais au début de cet article, la phase mécanique, toutes seraient enseignées par voie déductive. Bien que je sois fort incompétent sur ces questions, il me semble que dès maintenant l'enseignement de certaines parties de la physique, l'acoustique par exemple, pourrait se faire de cette façon. La méthode déductive n'est pas spéciale aux sciences dites exactes. Elle est commune à toutes les sciences et elle jouera dans chacune d'elles un rôle de plus en plus grand à mesure qu'elles approcheront davantage de la perfection.

Actuellement, en médecine les conclusions du raisonnement le plus logiquement construit peuvent être parfaitement fausses, parce que le point de départ d'un raisonnement biologique n'a jamais un caractère de certitude. Les vérités biologiques ne sont que des vérités approximatives.

Ce que valent les raisonnements en pathologie, rien ne le montre mieux que les fantaisies des géomètres modernes. En s'appuyant sur les postulats d'Euclide, qui sont des vérités adéquates aux faits, le raisonnement aboutit à des conclusions qui sont toujours conformes à la réalité. Si, comme l'ont fait Lewatchewsky et Riemann, on abandonne ces vérités d'expérience, et qu'on prenne pour point de départ une fantaisie contraire à l'expérience, la même méthode logique appliquée avec la même rigueur conduit à des conclusions qui ne sont plus d'accord avec les faits. En choisissant le point de départ, on peut démontrer tout ce que l'on veut si l'on est assez habile pour conduire le raisonnement jusqu'au bout. La logique mène indifféremment à

la vérité ou à l'erreur suivant qu'elle a pour point de départ la vérité ou l'erreur.

En médecine nous ne sommes malheureusement pas libres de choisir un point de départ certain, puisque nous n'en connaissons pas.

Aussi, ce qui est le plus important au point de vue de la méthode, c'est l'état d'esprit du médecin.

Il doit savoir que rien dans la nature n'est livré ni au hasard, ni à la fantaisie, que tous les phénomènes sont les uns vis-à-vis des autres dans des relations constantes.

Il doit se bien garder de l'idée que les lois en pathologie sont vagues et en quelque sorte flottantes. Ce qui est vague et flottant, c'est la connaissance que nous en avons. En dépit du proverbe, l'exception ne confirme jamais la règle. Toute exception prouve au contraire que la règle est insuffisante et devra tôt ou tard être remplacée par une autre.

Le médecin doit bien comprendre le but de la science. C'est tout simplement de constater les relations constantes entre les phénomènes, et d'en déterminer la valeur numérique. Aussi on se demande ce que certains écrivains, dénués de toute culture scientifique, ont bien pu vouloir dire en proclamant la banqueroute de la Science. Il faut qu'ils s'en soient fait une idée bien singulière.

Au sujet de la médecine, un certain scepticisme frondeur est de mode, et semble justifié par les modifications fréquentes des doctrines et des opinions.

C'est parfois un grand mérite de changer d'opinion. Les scholastiques pour n'avoir pas su le

faire ont enlisé le progrès pendant des siècles. Mais il ne faut changer que pour progresser.

Dans le bagage de la science, il y a quelques vérités que l'on pourrait appeler totales. Ce sont des vérités mathématiques, elles expriment des relations entre des nombres et des figures ; c'est-à-dire des rapports d'ordre statique qui existent dans l'espace et sont indépendants du temps.

Les phénomènes qui se passent dans le temps, qui ont une durée, sont bien plus difficiles à connaître. A mesure que l'on s'élève des abstractions de la mécanique rationnelle vers les réalités de la physique, de la chimie, de la biologie, la complexité va croissant et la vérité est enveloppée de voiles de plus en plus épais. La première vision qu'en a le chercheur est incertaine. Il établit expérimentalement une loi qui cadre avec les faits qu'il a spécialement en vue. Mais cette loi n'est pas l'expression de la vérité totale, c'est une approximation. Elle peut rendre de grands services, mais un jour vient où l'on s'aperçoit qu'elle ne cadre pas avec certains faits nouveaux. Il y a des exceptions à la règle ; il faut la remplacer et faire un effort pour approcher la vérité de plus près. Si un savant a le bonheur de trouver une nouvelle loi qui comprenne plus de faits que l'ancienne, on l'adopte avec joie parce qu'elle représente un progrès. Mais il faut être sans mépris pour l'ancienne, car elle contenait une part de vérité et sans orgueil au sujet de la nouvelle, qui, elle aussi, rentrera un jour dans le néant des erreurs et cédera la place à une autre. La vérité d'hier est l'erreur d'aujourd'hui. La vérité d'aujourd'hui est l'erreur de demain. Erreur partielle ; vérité incomplète. La

complexité des phénomènes pathologiques est telle qu'il faudra bien longtemps pour arriver sur un point quelconque à la vérité totale.

Si le médecin sait bien que les lois biologiques actuellement connues ne sont que des lois approchées, il n'accordera pas trop de confiance aux hypothèses, aux théories, aux systèmes que le besoin intellectuel de tout expliquer enfante sans base expérimentale.

Vis-à-vis de ces systèmes, son état d'esprit doit être le doute. Le doute philosophique est très loin du scepticisme qui nie et qui est stérile. C'est un état d'esprit très savant. Il n'est point du tout naturel aux hommes qui d'ordinaire n'ont de certitude que sur ce qu'ils ignorent. L'extrême ignorance a pour corollaire la plus naïve crédulité.

Il faut être savant pour savoir que l'on sait peu de chose, pour bien distinguer ce que l'on sait de ce que l'on ne sait pas, pour faire le départ entre ce qui est établi sur des bases expérimentales solides et ce qui est simple hypothèse.

Dans la voie du progrès, sur les confins des notions acquises, se trouve une zone neutre d'hypothèses probables où s'agite l'esprit de tous les chercheurs d'une époque. Il s'y forme, sous des influences bien difficiles à analyser, des *courants d'opinion*, courants plein de remous. C'est la zone des gestations pour les découvertes futures, zone féconde en vérités, mais aussi en erreurs.

Il faut faire des hypothèses. L'absence d'hypothèse, c'est l'aveu d'impuissance ou ce qui est pis l'aveu d'indifférence. Sans la curiosité, tout

progrès est impossible. Une hypothèse même mauvaise peut conduire indirectement à la vérité par les recherches qu'elle suscite. Mais en face d'une hypothèse, le médecin doit garder l'esprit libre.

L'affranchissement complet de l'esprit est difficile à réaliser. Il est malaisé de se débarrasser des idées préconçues. Personne n'a d'opinion sur les questions de géométrie. On les sait ou on ne les sait pas. Sur la santé ou la maladie, tout le monde en a.

Le sens intime, ce redoutable ennemi de la science, dicte sur les questions les plus complexes une opinion à tous ceux qui ne sont pas assez savants pour se défier de lui. Il est même difficile de parler d'un phénomène biologique sans faire une profession de foi qu'on ne voudrait pas faire. Les langues se sont formées à une époque ou les explications fétichistes ou théologiques satisfaisaient les hommes. Aussi sont-elles pleines de mots qui désignent des entités auxquelles nous ne croyons plus. Nous disons « la vie » comme si nous étions vitalistes.

Il n'y a pas grand inconvénient à désigner de noms abstraits les qualités de la matière brute. Personne ne s'imagine par exemple que la couleur puisse exister indépendamment de la matière et de la lumière. En biologie, le langage figuré est dangereux parce qu'on en est facilement dupe. L'habitude de prononcer le mot « vie » entretient dans beaucoup d'esprits l'idée que c'est une force indépendante de la matière qui donne à certaines substances la qualité d'être vivantes; tant est grande la tendance à prendre les abstractions et les symboles pour des réalités.

Comme il est très dangereux de se payer de mots, il faut se méfier du langage.

Le médecin doit sans cesse s'exercer à observer. L'observation est la seule méthode d'investigation. L'expérimentation a une grande importance, mais au point de vue de la méthode, on a exagéré, sinon son importance, du moins son rôle. Elle rend d'immenses services en produisant les phénomènes dans des conditions de simplicité qui en rendent l'étude plus facile et plus fructueuse. Mais que le phénomène soit produit artificiellement par l'expérimentateur ou d'une manière accidentelle, c'est toujours par l'observation qu'on le constate. L'expérience sert surtout à faciliter l'observation.

Rien ne paraît plus simple que d'observer, rien n'est plus difficile.

Les sens de l'homme sont d'assez bons appareils enregistreurs ; mais parmi les documents qu'ils lui livrent, le cerveau ne tient compte que de ceux qu'il connaît déjà. La vue est le sens scientifique par excellence ; c'est par lui que nous effectuons toutes les mesures. Nous apprécions bien par le toucher des différences de température, par le sens de l'effort des différences de poids, mais si nous voulons les mesurer, nous prenons un thermomètre, une balance, un dynamomètre et nous *lisons* les résultats sur l'échelle graduée.

Sans la vue, la science humaine n'existerait pas, ou bien elle serait très différente de ce qu'elle est, et cependant l'œil est très mauvais observateur.

Pour voir il faut regarder. Or la grande majorité des hommes ne regardent que ce qu'ils connaissent et cela même ils le regardent mal.

Ainsi l'œil ne peut voir que suivant les lois de l'optique qui sont celles de la perspective. S'ils étaient bons observateurs, les enfants devraient dessiner spontanément en perspective. Or ceux qui mettent deux yeux dans une tête de profil ne sont pas rares, et il n'y en a pas qui dessinent d'emblée une maison en perspective. L'enfant représente les choses comme il les sait et non comme il les voit.

De même l'observateur novice voit les choses comme il les sait et non comme elles sont, de sorte que des faits même très apparents peuvent rester longtemps inaperçus. Cela est si vrai que toutes les fois que l'on décrit une maladie ignorée, on en trouve tout de suite un nombre de cas relativement considérable.

Quand on dit que l'observateur doit être un enregistreur impersonnel, cela veut dire qu'il doit noter ce qu'il observe avec l'impartialité et la précision d'un instrument, mais cela ne veut pas dire du tout qu'il doit être passif. L'observation est un travail qui nécessite une grande activité de l'esprit et des sens.

Parfois un fait frappe tout à coup un observateur, parce que son esprit est plus éveillé, ses sens sont plus vigilants. C'est le cas de l'astronome qui, en promenant sa lunette, découvre un astre.

Le plus souvent, le chercheur qui a constaté certaines perturbations fait des hypothèses sur leur cause et cherche dans la direction où ses hypothèses le conduisent. C'est ainsi que Le Verrier découvre une planète.

C'est le cas le plus ordinaire en médecine. Pour expliquer une perturbation, le médecin

construit une hypothèse et pour vérifier cette hypothèse, il observe le malade ou bien il institue une expérience dont il observe les résultats.

Bien des gens s'étonnent qu'on puisse découvrir encore des maladies, et se demandent, chaque fois qu'on en décrit une, si elle est nouvelle. Je ne crois pas qu'il y ait de maladies nouvelles, et je ne suis même pas sûr que celles qui frappent le plus vivement l'attention du public aient augmenté de fréquence. L'étonnement vient de ce qu'on ne se rend pas un compte très exact de ce qu'il faut entendre par une maladie.

Ce qui caractérise cliniquement une maladie, c'est non pas un symptôme, mais un ensemble de symptômes qui évoluent d'une certaine façon. Il faut donc d'abord remarquer qu'un certain nombre de symptômes sont habituellement groupés de manière à former un ensemble, un syndrome. Ce serait très facile si les symptômes étaient toujours assemblés de la même façon, mais il s'en faut de beaucoup qu'il en soit ainsi. Tantôt l'un devient prédominant et masque les autres. Tantôt, dans les formes frustes, ils sont tous estompés. Tantôt dans les formes anormales un symptôme habituellement secondaire devient prédominant. Il faut saisir ce qu'il y a de constant sous cette diversité.

Ce travail qui a nécessité plusieurs siècles d'observation n'est pas achevé. De temps en temps un observateur plus sagace découvre un syndrome resté inaperçu et une maladie non pas nouvelle, mais nouvellement découverte prend place dans le cadre nosologique.

Quand on a constaté le groupement d'un cer-

tain nombre de symptômes et étudié leur évolution, le type morbide est dégagé. Cette première phase des connaissances médicales est purement clinique. L'empirique s'y tient, le chercheur scientifique doit aller plus loin.

La seconde étape pour individualiser un type morbide consiste à découvrir les lésions dont dépendent les symptômes. C'est la méthode anatomo-clinique qui conduit à ce résultat. Elle consiste essentiellement à étudier les altérations anatomiques et à établir leurs relations avec les perturbations physiologiques.

Le problème semble très simple et il l'est parfois, mais en général il est d'une extrême difficulté. On n'a même pas pu l'aborder tant que les habitudes ou les préjugés religieux ont empêché de faire des autopsies. Pour les maladies qui ne sont pas ou qui sont rarement mortelles, l'étude anatomo-pathologique est presque impossible sans l'expérimentation. Enfin quand une maladie entraîne la mort, les lésions sont devenues si complexes et si étendues qu'il est très difficile de reconnaître l'altération primitive.

A ce point de vue, la chirurgie a rendu de grands services en permettant de faire l'anatomie pathologique sur le vivant. La pathologie et même la physiologie lui doivent d'énormes progrès.

C'est à la suite de l'extirpation du corps thyroïde qu'on a observé les accidents de myxœdème qui ont révélé le rôle si important et jusque-là complètement ignoré de la glande thyroïde.

La pathologie des organes génitaux internes de la femme, trompes et ovaires, a été faite par la chirurgie.

Jadis, quand les malades mouraient d'appendicite, on trouvait à l'autopsie tantôt d'énormes abcès, tantôt des péritonites généralisées qui avaient si profondément altéré l'abdomen que les altérations de l'appendice disparaissaient au milieu des autres.

Certains organes de petites dimensions et très profondément situés n'attiraient pas l'attention des anatomo-pathologistes. On commence seulement à étudier les lésions des capsules surrénales, celles de l'hypophyse et à soupçonner les graves manifestations qu'elles déterminent.

Souvent c'est par l'expérimentation qu'on établit la relation entre telle lésion et telle manifestation symptomatique.

Quand par une de ces méthodes on a rattaché un syndrome à une lésion, le type morbide est établi. On peut baptiser la maladie. Elle est cependant bien loin d'être connue.

Jusqu'à ces dernières années, on n'avait guère été plus loin. On connaissait avec une suffisante précision un grand nombre de lésions et un grand nombre de symptômes. Mais on ignorait complètement la pathogénie.

Au point de vue médical, le grand travail de la fin du XIXe siècle a été l'étude de la pathogénie et c'est la révolution pastorienne qui l'a fait entrer dans la voie scientifique.

Pasteur, en montrant le rôle des microbes, en étudiant leur atténuation, a parcouru tout le cycle de la pensée médicale de la pathogénie à la thérapeutique.

Aujourd'hui il est admis que toutes les maladies dites infectieuses sont dues à la pénétration de microbes dans l'organisme. La démonstration

est complète pour toutes les maladies dont le microbe est connu. Mais il en est beaucoup, les plus fréquentes, les plus banales, la rougeole, la scarlatine par exemple dont l'agent pathogène a échappé à toutes les recherches. Les médecins, cependant, sont sûrs de leur existence et leur certitude est basée sur le raisonnement suivant: La maladie A est causée par un microbe. Les maladies B. C. D. appartiennent à la même classe nosologique que la maladie A. Donc les maladies B. C. D. sont causées par des microbes.

La conclusion est certaine à la condition que les faits énoncés dans les deux premières parties du raisonnement le soient. Or il y a un point faible, c'est la seconde partie. Il est hasardeux d'affirmer que deux maladies sont de même ordre. Ce mode de raisonnement si fréquemment employé en médecine et qui a pour base l'analogie entre deux phénomènes est donc dangereux.

Il est légitime cependant dans certains cas, parce que les innombrables observations des siècles passés ont conduit peu à peu à dégager, dans l'énorme complexité des maladies, un certain nombre de familles, c'est-à-dire à faire une classification nosologique.

Avec la connaissance des microbes, la médecine est entrée dans une voie nouvelle.

La médecine expérimentale, telle que la comprenait Cl. Bernard, consistait à déterminer des lésions mécaniques, le plus souvent destructives, pour étudier les perturbations qui en résultaient. Elle correspondait, en somme, à la phase où en était la médecine à l'époque où il a écrit son admirable introduction à la médecine expérimen-

tale, c'est-à-dire à la phase anatomo-pathologique.

Avec l'expérimentation microbienne, ce ne sont plus des lésions grossières plus ou moins analogues à celles de la maladie que l'on reproduit chez les animaux, c'est la maladie elle-même. Ainsi s'ouvre un nouveau chapitre : c'est une nouvelle étape qui conduit enfin, après des siècles d'efforts, au véritable problème médical, c'est-à-dire la réaction de l'organisme vivant en face de l'attaque, car c'est cette réaction qui constitue la maladie.

On a d'abord étudié le cas le plus simple, la réaction locale au niveau du point où l'on inocule certains microbes, c'est-à-dire l'inflammation. M. Metchnikoff a montré le rôle important des globules blancs, qui sortent des vaisseaux par diapédèse, et se comportant comme des amibes englobant les microbes. C'est la phagocytose. Elle aboutit parfois à la destruction complète des envahisseurs; mais souvent les lutteurs amiboïdes succombent en grand nombre et les cadavres des globules blancs forment par leur accumulation un abcès.

L'englobement des microbes par les leucocytes a une importance pratique incontestable. Mais bien plus intéressante que ce fait local est la réaction générale.

Un organisme vivant est un système sans cesse modifié qui maintient son équilibre en rénovant à chaque instant sa substance.

Dans un tel système, les perturbations sont incessantes. Les modifications de la température, de la composition de l'air, l'ingestion des aliments amènent des oscillations qui ne diffèrent de la maladie que par le degré.

Après les oscillations sérieuses, l'organisme qui a résisté revient à l'équilibre. Mais cet équilibre n'est pas l'équilibre ancien, c'est un équilibre nouveau.

D'ordinaire, l'organisme modifié est devenu plus résistant vis-à-vis de l'ennemi dont il a triomphé. Il est partiellement ou complètement immunisé pour un certain temps.

Cette modification échappe à toute analyse chimique; elle est révélée seulement par la manière dont l'organisme se comporte vis-à-vis du microbe. Ainsi est née une nouvelle méthode de recherches qui consiste à se servir d'êtres vivants comme réactifs d'autres êtres vivants.

L'immunité, qui est le résultat d'une réaction vitale, n'est cependant liée à aucune des conditions qui caractérisent la substance vivante. Les propriétés immunisantes persistent dans le sérum recueilli en flacon, de telle sorte que l'on peut conserver l'immunité en bouteille.

La réaction de l'organisme ne se produit pas toujours dans le sens de l'immunité. Parfois elle se fait de telle sorte que l'individu reste plus sensible à une seconde attaque. Il est *sensibilisé* au lieu d'être *immunisé*. Cet état, que Richet a appelé l'*anaphylaxie*, joue sans doute un grand rôle dans les maladies chroniques.

Celles-ci, quand elles sont d'origine microbienne, sont caractérisées par un accommodement imparfait entre l'agent pathogène et l'organisme envahi. Il s'établit une sorte d'équilibre.

Dans certaines maladies, la syphilis par exemple, l'immunité et l'anaphylaxie semble se produire simultanément. L'immunité s'établit, puisque l'organisme infecté est à l'abri d'une

seconde contagion; mais, en même temps, il se produit un certain degré d'anaphylaxie, puisque, lorsque la maladie est abandonnée à elle-même, le spirochète produit des lésions de plus en plus graves.

Dans la tuberculose, l'immunité et l'anaphylaxie se produisent dans des proportions variables suivant les cas. Dans le cancer, dont la nature est complètement inconnue, l'anaphylaxie est la règle, de telle sorte que les tumeurs secondaires se développent avec une extrême facilité sur l'organisme cancérisé.

L'étude de la résistance de l'organisme à l'invasion microbienne a indirectement ramené aux notions anciennes sur l'étiologie.

Il y a des espèces microbiennes inoffensives pour les organismes supérieurs. Il en est qui sont dangereuses pour certains animaux et pas pour d'autres. Les microbes d'une espèce dangereuse n'ont pas toujours la même virulence; les animaux d'une même espèce n'ont pas tous la même résistance. Virulence et résistance sont deux facteurs qui varient notablement chacun pour soi et l'un par rapport à l'autre. Nous portons presque constamment dans la bouche le pharynx, l'intestin des microbes pathogènes : ils y restent parfaitement inoffensifs, jusqu'à ce qu'une cause locale ou générale diminue la résistance de l'organisme ou exalte leur virulence. C'est ainsi que toutes les circonstances si soigneusement notées par les anciens auteurs, la fatigue, le surmenage, l'humidité, le coup de froid, si elles sont incapables d'engendrer les maladies, jouent cependant un grand rôle dans leur production.

L'étiologie a fait un progrès d'un tout autre ordre et d'une énorme importance pratique. On a déterminé l'habitat ordinaire de certains microbes pathogènes et les voies par lesquelles ils pénètrent dans l'organisme. Le rôle de l'eau a été établi dans la genèse de la fièvre typhoïde. On étudie celui du lait dans la contagion de la tuberculose. On a démontré que l'hématozoaire qui donne la fièvre paludéenne est apporté par des moustiques d'une certaine espèce, que le trypanosome qui engendre la maladie du sommeil est inoculé par une mouche, que le bacille de la peste est transporté du rat à l'homme par les puces. Ce sont là d'admirables découvertes qui conduisent à une prophylaxie efficace.

Nous avons passé en revue les étapes successives par lesquelles on arrive à connaître une maladie, étape symptomatique, étape anatomopathologique, étape pathogénique, étape étiologique.

Quand une maladie est ainsi connue et qu'il s'agit de la décrire pour l'enseigner, au lieu de suivre la marche analytique qui en a permis l'étude, on prend la marche inverse. La méthode déductive a tant de charmes pour l'esprit qu'on l'adopte dès qu'elle est possible. On part de l'étiologie et de la pathogénie, on en déduit l'anatomie pathologique, et, de l'anatomie pathologique, on déduit les symptômes. C'est ainsi que sont construits tous les chapitres des ouvrages de pathologie.

Mais le médecin qui se trouve en présence d'un malade est obligé de reprendre la méthode analytique, et de repasser par toutes les étapes qu'a franchies la science dans son évolution. Il

recueille les symptômes, assigne à chacun d'eux sa valeur relative. Quand il a bien dégagé le complexus symptomatique, en s'appuyant sur les acquisitions du passé qu'il doit connaître, il conclut que ce complexus symptomatique est dû à telle lésion et que cette lésion est déterminée par telle cause, microbienne ou autre. Il a fait un diagnostic.

On demande souvent si la médecine est une science ou un art? Il n'y a pas de réponse à cette question, parce qu'elle est mal posée.

La pathologie est une science. Elle constate des symptômes, des lésions et des agents perturbateurs de l'équilibre organique. Elle établit des relations entre les agents pathogènes et les symptômes par l'intermédiaire des lésions. C'est là une œuvre scientifique. Que cette œuvre soit incomplète, ce n'est pas douteux, mais on ne peut nier qu'elle ait le caractère scientifique. Et même sur quelques points, les relations sont déterminées avec assez de précision pour qu'on commence à leur donner une valeur numérique. On a introduit les chiffres dans la mesure de l'agglutination, de l'immunité, des opsonines. Sans exagérer la valeur actuelle de ces chiffres, il faut bien faire remarquer qu'ils constituent un énorme progrès au point de vue philosophique. Car la détermination des rapports numériques entre les phénomènes est la forme la plus élevée de la science.

Si la pathologie est incontestablement une science, le diagnostic est encore un art.

Il est très difficile de s'entendre sur la valeur de ces mots, science et art, qui ont d'ailleurs des sens multiples.

Au point de vue qui nous occupe, ce qui caractérise la science c'est son impersonnalité; ce qui caractérise l'art c'est l'importance du rôle personnel.

Dans le diagnostic, le rôle personnel du médecin est énorme.

La relation de tel symptôme avec telle lésion est une notion scientifique, le médecin doit la savoir. Mais il lui faut dépister ce symptôme. A ce point de vue, toute nouvelle méthode d'exploration fait faire d'énormes progrès. La découverte de la percussion et de l'auscultation a transformé la médecine des maladies du cœur et du poumon.

Dans l'immense majorité des cas, ce n'est pas un symptôme unique qu'il s'agit de découvrir. Les troubles de la corrélation, de la coordination produisent un ensemble symptomatique de la plus extrême complexité. Très souvent, le malade trompe involontairement le médecin. Il attire son attention sur un symptôme particulièrement pénible, qu'il juge pour cela prédominant et qui n'a aucune importance pour le diagnostic. Alors intervient ce qu'on appelle le flair ou le sens médical. Ce n'est pas une qualité spéciale qui échappe à toute analyse. Elle est faite de trois éléments : une grande sagacité dans l'observation; une tournure d'esprit scientifique qu'on appelle généralement le bon sens et qui permet d'attacher à chaque symptôme la valeur relative qu'il a réellement. Reléguer au second plan ceux qui sont sans importance, mettre en vedette les signes capitaux, en d'autres termes établir la subordination des symptômes, c'est là le travail difficile.

Ces deux qualités nécessaires, la sagacité, le bon sens scientifique ne servent de rien sans une troisième. Il faut que le médecin ait une mémoire vaste et sûre. Il faut qu'il soit très instruit et qu'il puisse évoquer instantanément tout ce qu'il sait et tout ce qu'il a vu.

La pratique de la médecine présente des qualités très spéciales. L'avocat ou l'ingénieur consulté sur un cas difficile peut se retirer dans sa bibliothèque, se documenter et réfléchir. Le médecin, et encore plus le chirurgien, doit être toujours prêt, il doit avoir dans son cerveau toute sa bibliothèque, science et jurisprudence, je veux dire expérience, car il faut à chaque instant qu'il prenne un parti immédiat et que ce parti soit le meilleur.

Le médecin, dès qu'il a vu le malade et posé quelques questions, construit une hypothèse. Sans hypothèse, l'étude des symptômes flotte au hasard, elle est mal conduite. Cette première hypothèse, il est tout prêt à l'abandonner si elle ne cadre pas avec les faits. Dans les cas embarrassants, on passe par plusieurs hypothèses successives avant d'arriver à la bonne.

Le rôle personnel du médecin, le côté artistique du diagnostic se réduira de plus en plus à mesure que l'on connaîtra mieux les modifications internes produites par la maladie et que l'on perfectionnera les moyens d'investigation.

De simples manipulations donneront des réponses précises à des questions où la plus subtile analyse n'apportait qu'une solution incertaine.

Il était récemment encore à peu près impossible de reconnaître la valeur fonctionnelle rela-

tive des deux reins. Le cathétérisme des uretères ou la séparation des urines nous permet de la déterminer avec précision.

Les rayons de Rœntgen nous montrent une fracture, un corps étranger, un kyste hydatique.

La recherche des microbes dans les crachats permet d'affirmer la nature d'une affection pulmonaire. La réaction de Widal, l'agglutination, révèle à quelle espèce microbienne est due une infection.

La recherche des microbes dans les crachats, celle de l'agglutination peuvent être faites et sont faites, le plus souvent, par des garçons de laboratoire. La réponse à la question posée découle directement de l'exécution correcte de quelques manipulations. Elle ne dépend pas de celui qui exécute les manœuvres. Le diagnostic est devenu impersonnel et il a pris le caractère scientifique.

Mais le diagnostic ne consiste pas seulement à mettre une étiquette sur un malade; il consiste encore à déterminer toutes les conditions du cas particulier, de manière à en tirer un pronostic. On entrevoit qu'il sera possible un jour de mesurer l'intensité d'une infection, le degré de résistance de chaque malade. Mais actuellement le pronostic ne peut être établi que par l'analyse minutieuse de tous les symptômes et l'étude de tous les organes du malade.

D'une manière générale, c'est par la méthode statistique qu'on établit la gravité d'une maladie.

On a dit beaucoup de mal de la statistique; on lui a adressé beaucoup de reproches, dont quelques-uns ne sont pas justifiés. « Jamais la statistique, dit Cl. Bernard. qui en était grand

ennemi, n'a rien appris ni ne peut rien apprendre sur la nature des phénomènes. » C'est une de ces vérités qui ne déplaisaient pas à M. de La Palice. On n'a pas le droit de reprocher à une méthode de rester stérile sur les questions pour quoi elle n'est point faite.

La statistique rend de précieux services quand on ne lui demande que ce qu'elle peut donner.

Quand on veut savoir la fréquence d'une maladie dans un pays, il n'y a d'autre moyen que d'en compter les cas et d'en faire le pourcentage par rapport à la population; on arrive ainsi à un résultat certain et précis.

Si l'on veut savoir la gravité moyenne d'une maladie, on compte le nombre des morts sur un très grand nombre de malades. Le pourcentage ainsi obtenu a d'autant plus de valeur que le nombre des cas est plus grand, mais ce n'est jamais qu'une valeur très relative, parce que la gravité n'est pas un caractère constant d'une maladie. Elle diffère beaucoup d'un cas à l'autre, de sorte que les faits accouplés dans la statistique ne sont pas comparables. On compte sur leur grand nombre pour établir une sorte d'équilibre, mais ce nombre, si grand qu'il soit, est insignifiant par rapport à ce que les mathématiciens appellent les grands nombres. La loi des grands nombres n'est pas applicable.

Les renseignements fournis par la statistique, bien que fort peu précis, ont cependant une valeur, et si une compagnie entreprenait d'assurer les malades atteints de fièvre typhoïde, elle pourrait, grâce à la statistique, établir des barrêmes qui lui permettraient de réaliser des bénéfices.

Mais si un médecin, se basant sur les statistiques, disait d'un malade qu'il a tant de chances de mourir, il prononcerait une phrase à peu près vide de sens.

C'est de l'étude particulière de chaque malade qu'il faut tirer la prévision de l'avenir. Savoir, c'est prévoir. Si l'on connaissait bien le déterminisme d'un cas, on pourrait avec certitude en prédire l'évolution. Il faut donc s'efforcer de le bien connaître pour réduire autant que possible l'imprévu, dont la part restera bien longtemps encore trop considérable.

La thérapeutique est le but de la médecine. C'est pour les guérir qu'on étudie les maladies et il faut les bien connaître pour les bien soigner. La phase thérapeutique devait donc être la dernière de l'évolution médicale. Je parle de la thérapeutique scientifique, car c'est bien évidemment par la thérapeutique empirique que la médecine a commencé.

L'idéal social de la médecine, c'est de supprimer les maladies encore plus que de les guérir. On y réussit par deux procédés tout à fait différents. L'un agit sur l'agent pathogène, l'autre sur l'individu exposé.

Le premier nécessite la connaissance exacte des conditions étiologiques; agent pathogène, son habitat, ses moyens de pénétration. Cette branche de la médecine, la prophylaxie, ne se borne plus à de vagues règles hygiéniques. Elle a fait d'immenses progrès. On peut supprimer la fièvre paludéenne, la fièvre jaune, et on l'a supprimée dans certains pays en empêchant les larves des insectes vecteurs des agents pathogènes de se développer. On arrête une épidémie

de peste en détruisant les rats. On fera peut-être disparaître la maladie du sommeil en tuant les crocodiles, puisqu'il semble que la mouche qui transporte le trypanosome pathogène a besoin de sang de crocodile pour vivre. On sait l'importance de l'eau dans la genèse de la fièvre typhoïde, celle du lait dans la tuberculose.

L'autre procédé consiste à rendre réfractaire les individus exposés à la contagion. Ce résultat peut être obtenu soit par la vaccination, soit par la sérothérapie.

La vaccination consiste à déterminer artificiellement une maladie atténuée pour conquérir l'immunité. L'individu inoculé fabrique l'immunité pour lui-même.

Dans la sérothérapie, on fait préparer l'immunité par un autre, un animal. On recueille son sérum et on l'injecte à l'individu que l'on veut préserver.

Les sérums ne sont pas seulement prophylactiques. Certains agissent sur l'individu déjà malade et sont capables de le guérir; ils sont thérapeutiques. C'est la seule thérapeutique vraiment pathogénique dont nous disposions. C'est la thérapeutique idéale, celle qui s'adresse à la cause même de la maladie, microbe ou toxine.

Il est une autre variété de sérum dont on n'a point encore tiré d'application pratique, mais qui permet d'en espérer, c'est les sérums cytolitiques. Quand on injecte, à plusieurs reprises, à un animal des tissus broyés d'un autre animal, le sérum du premier devient toxique pour les tissus du second. Si, par exemple, on injecte à un lapin des fragments pulpés de foie de cobaye, le sérum de ce lapin injecté à un autre

cobaye amène une destruction du foie. Il n'est pas impossible qu'on arrive un jour à préparer des sérums cytolitiques capables de guérir certaines tumeurs.

A côté de la sérothérapie, il faut mentionner l'opothérapie. Toutes les glandes, outre la sécrétion qui s'écoule par leur conduit excréteur, produisent d'autres substances qui sont versées directement dans le sang. C'est ce qu'on appelle la sécrétion interne. Cette sécrétion interne est la seule pour les organes glandulaires qui n'ont pas de conduits excréteurs. Les substances qui la constituent, au moins certaines d'entre elles, gardent leur action, comme celles qui produisent l'immunité, après la mort, et elles agissent lorsqu'on les administre soit par la voie digestive soit en injections sous-cutanées, de là une méthode thérapeutique qui permet de suppléer à un organe altéré par la maladie, enlevé par le chirurgien ou congénitalement insuffisant. L'opothérapie thyroïdienne donne des résultats merveilleux dans les insuffisances du corps thyroïde.

La vieille thérapeutique symptomatique, celle qui n'a d'autre but que d'atténuer les symptômes, élévation de température, douleur, dyspnée, etc., a fait elle-même d'importants progrès. Des drogues innombrables jadis employées, on a isolé les principes actifs, on a étudié leur mode d'action, et la thérapeutique est ainsi devenue plus précise. On a fabriqué une innombrable quantité de médicaments nouveaux. Quelques-uns ont été fabriqués non pas au hasard, mais d'une manière systématique. On a constaté, en effet, que l'action de certains médicaments est due non pas à leur composition centésimale, mais à

certains groupements chimiques ou à l'architecture de la méthode.

Ainsi le radical oxyméthylanthraquinonique a des propriétés purgatives. Si on substitue dans le radical un groupement éthyl au groupement méthyl, ce qui ne change pas la structure de la molécule, les propriétés purgatives persistent et sont même augmentées.

La radical sulfonal a des propriétés soporifiques. Si on modifie l'architecture de la molécule, le pouvoir soporifique disparaît ; au contraire si on remplace un groupement méthyle par un groupement éthyle, ce qui ne détruit pas l'architecture moléculaire, le pouvoir soporifique persiste ou même s'accroît.

C'est en se basant sur des considérations de ce genre que Fourneau partant de la cocaïne, alcaloïde naturel, a fabriqué artificiellement la stovaïne qui jouit de propriétés analogues tout en étant moins toxique.

Ces faits intéressants conduiront peut-être à éclaircir la constitution chimique de diverses cellules.

Malgré ces découvertes importantes dans l'ordre thérapeutique et je n'ai cité que les principales, on répète encore avec une fréquence un peu fatigante que la médecine est restée stationnaire tandis que la chirurgie a fait d'énormes progrès. Il n'est rien de plus injuste.

Sans doute la chirurgie, grâce à l'asepsie qui lui permet d'aborder impunément tous les viscères rend d'immenses services. Mais ses progrès sont surtout pratiques et au point de vue scientifique ceux de la médecine sont au moins égaux.

Bien que je sois chirurgien, je pense et j'espère

que l'ère chirurgicale n'aura qu'un temps. Un jour viendra où l'on guérira par quelques sérums les organes que nous enlevons partiellement ou complètement, et il ne subsistera de la chirurgie que la partie réparatrice, celle qui remédie aux difformités, aux malformations et aux traumatismes.

Pierre Delbet,
Professeur agrégé à la Faculté de Médecine de Paris.

PSYCHOLOGIE

La psychologie a pour objet l'étude scientifique des faits de conscience. Elle se propose, par la description et par l'analyse, de déterminer leur nature : d'abord en montrant les caractères qui distinguent chaque groupe de phénomènes et les variétés de chaque groupe ; ainsi le groupe des états de conscience désignés sous le nom de « sensations » devra être d'abord décrit et différencié du groupe des « sentiments » ; puis chaque espèce de sensation devra à son tour être étudiée séparément. De plus, le psychologue doit rechercher comment des états simples naissent les états complexes et suivant quels procédés ce développement s'opère ; déterminer les rapports des processus psychologiques entre eux, avec les fonctions physiologiques de l'organisme, enfin avec les phénomènes physiques et sociaux qui forment le milieu dans lequel l'individu sent, pense et agit.

Comme toute autre science, pour atteindre son but et ramener, dans la mesure possible, à des lois la variété confuse des faits, la psychologie doit employer des procédés divers dont l'ensemble constitue sa méthode. Pour la clarté de notre exposition et sans prétendre à une ri-

gueur que le sujet ne comporte pas, nous étudierons ces procédés de recherche sous les titres suivants.

1° La méthode subjective ou d'observation intérieure qui est directe, immédiate et exclusivement propre à la psychologie.

2° La méthode objective ou d'observation extérieure. La matière à étudier est donnée au psychologue en dehors de lui tout comme pour le physicien, le chimiste, le naturaliste. Ici toutefois, il semble légitime de distinguer deux manières de procéder.

L'une est *directe* ; elle s'applique aux autres hommes et même aux êtres vivants doués de fonctions psychiques.

L'autre est *indirecte* ; elle interroge et interprète les produits de l'activité mentale de l'homme fixée dans des œuvres individuelles ou dans des organisations sociales, collectives.

3° L'expérimentation qui fait rentrer la psychologie dans le cycle des sciences naturelles. Elle se produit aussi sous deux formes selon qu'elle s'applique aux phénomènes normaux (c'est l'expérimentation proprement dite) ou qu'elle utilise les maladies comme moyen de recherches (c'est la méthode pathologique).

Il y a en outre quelques méthodes spéciales ou procédés auxiliaires qui sont indiqués en leur lieu.

I

La méthode d'observation intérieure ou introspection (regarder en dedans), malgré son caractère subjectif et par conséquent strictement individuel, est la méthode fondamentale de la

psychologie, la condition nécessaire de toutes les autres et à peu près la seule qui ait été employée pendant des siècles. Tout d'abord, il est important de distinguer entre la simple conscience que chacun a de ce qui se passe en lui et l'observation intérieure proprement dite. A tous les moments de sa vie, l'homme normal connaît ses sensations, ses sentiments, ses actes ; mais cette connaissance, d'une réceptivité presque passive, n'a rien de commun avec une méthode. L'amoureux qui se contente de jouir ou de souffrir de sa passion (ce qui est le cas ordinaire) ne fait pas de psychologie ; mais s'il réfléchit sur les causes de son amour, sur ses fluctuations croissantes et décroissantes, sur ses chances de durée ou de fragilité, s'il le compare à d'autres, alors il ébauche une psychologie de sa passion. La méthode psychologique commence donc avec la *réflexion* sur soi-même et l'analyse. L'aptitude à l'introspection n'est pas départie à tout le monde ; quelques-uns l'ont à un haut degré ; ceux-là sont nés psychologues. Il est facile de constater l'accroissement de ce pouvoir d'observation sous l'influence de la répétition, de la discipline, du dressage, et l'individu en a conscience ; il constate en lui une expérience plus riche, parce que, dans un état complexe, il peut découvrir beaucoup d'éléments plus simples qu'il ne soupçonnait pas ; à peu près comme une oreille exercée peut, dans un son musical, percevoir les harmoniques. Au reste, l'expérience journalière nous montre des gens qui sans aucune prétention à la pratique d'une méthode, sont capables d'analyser ce qu'ils ont senti, imaginé, calculé dans certaines circonstances de leur vie.

La psychologie présente donc cette particularité qu'elle observe directement les phénomènes qui sont sa matière, tandis que les sciences physiques et naturelles ayant pour objet le monde extérieur, l'observent au moyen des sens ou des instruments qui en sont l'extension. A cet égard, elle a une supériorité sur les sciences du monde extérieur, c'est que les faits qu'elle étudie étant connus par l'observation interne sont comparativement libres d'inférence et comme tels moins sujets à l'erreur.

Toutefois, cet avantage, si grand qu'il soit, est beaucoup diminué par certains désavantages, parce que la méthode d'introspection donne naissance à des difficultés spéciales. En effet, l'observation scientifique exacte demande un esprit froid et impartial; or quand nous devons observer nos propres états de conscience, il est malaisé de conserver cette attitude d'impartialité. Aussi la méthode d'introspection a été vivement critiquée, même niée par quelques auteurs dont le plus connu est Auguste Comte. Quoique ces objections aient été souvent exposées, discutées et réduites à leur juste valeur, il est indispensable de résumer ici les principales.

On ne peut être à la fois spectateur et acteur, « l'œil ne peut se voir lui-même ». Or, c'est ce que la méthode d'observation intérieure paraît exiger. L'esprit en réfléchissant sur son propre travail doit nécessairement se scinder en deux. Ainsi, si j'observe ce qui se passe dans le travail de l'attention, je dois d'abord faire attention à quelque chose et ensuite au processus même de l'attention. Mais si l'effort pour observer est soutenu et vigoureux, il contribuera à détruire

l'objet qu'il examine ou à l'altérer. En sorte que l'introspection fixée sur une opération mentale qui par elle-même est plus ou moins absorbante ne peut saisir qu'une série d'états clairs mais passagers. — On a répondu à cette difficulté qu'on peut observer non d'après le présent, mais d'après le passé immédiat, d'après la mémoire. Il est évident qu'il y a des états de conscience qui de leur nature, échappent à l'observation intérieure. Un accès de peur, de colère et toute émotion violente, une décision prise et exécutée rapidement, sont hors des prises de l'introspection. Mais ces cas eux-mêmes, les plus défavorables, peuvent être analysés *après*. Pourtant il faut reconnaître par avance qu'on les connaît surtout d'après une autre méthode : l'observation des autres. Malgré tout ce qu'il y a d'exact et de légitime dans l'objection présentée, on ne peut nier que l'introspection pratiquée par des gens bien doués et bien entraînés a fait ses preuves comme méthode d'analyse.

On a fait encore remarquer que, dans le cas du psychologue, l'objet observé ne ressemble pas à celui du physicien, du chimiste, du biologiste, parce que les états de conscience ne sont pas des objets stables et fixes : ordonnés dans le temps seulement, ils n'ont pas la netteté de contour des phénomènes du monde extérieur qui s'ordonnent dans l'espace, et c'est un fait d'expérience courante que différentes séries d'idées et de sentiments peuvent se mouvoir au même moment à travers notre conscience. — Il faut remarquer cependant que l'opposition que l'on établit entre les deux cas n'est que relative et

que ces fluctuations dans les objets existent aussi pour l'observation extérieure. Sans parler des cas extrêmes comme celui de l'amibe qui s'étend ou se contracte sous le microscope, du spectre lumineux projeté sur l'écran, il est certain que l'objet extérieur en tant que connu par les sens dépend de la fixité ou des oscillations de l'attention, de la mémoire, de l'imagination, bref de l'état psychique actuel de l'observateur. Il y a un facteur personnel qui ne peut jamais être éliminé : l'astronomie, qui est pourtant une science exacte, l'a découvert depuis longtemps.

L'objection la plus grave est celle qui se fonde sur le caractère purement individuel de l'introspection. Chacun ne peut analyser que sa propre conscience. Les états psychiques n'étant observables que pour celui qui les éprouve, il est impossible qu'un autre vérifie l'observation ou l'analyse du psychologue, à l'encontre de ce qui se fait dans les sciences objectives. De là aussi résulte que l'observation intérieure ne pouvant pas dépasser les limites de la conscience individuelle est hors d'état d'atteindre le caractère de généralité que la science exige. — La difficulté est inéluctable, et si l'on prétendait, comme quelques psychologues des siècles précédents, s'en tenir rigoureusement à l'introspection, la psychologie cesserait d'être une science pour devenir simplement l'histoire interne d'un individu.

Ces critiques, notamment la dernière et d'autres que j'oublie, montrent clairement la nécessité des procédés objectifs : la méthode est un instrument de science et la science vise à l'objectivité. L'introspection analyse et fixe les éléments.

Sans elle rien ne commence ; avec elle seule rien ne s'achève. Même quand la psychologie à l'état d'enfance semblait se confiner dans l'étude du moi et ignorer d'autres procédés, l'observateur, par la force des choses sortait de lui-même pour se comparer à ses semblables et chercher en eux un soutien.

II

La méthode objective ou d'observation *extérieure* que nous avons nommée *directe*, s'applique aux manifestations de la vie de l'esprit chez les autres. Nul ne peut entrer dans la conscience d'autrui ; mais il peut interpréter des signes externes par analogie avec sa propre expérience. Ces signes consistent toujours en quelque acte ou attitude du corps. Les gens les plus simples reconnaissent chez leurs semblables la peur, la colère, la fermeté, l'indécision, en un mot leurs états affectifs ou leurs dispositions actives. La parole traduit plus spécialement les états intellectuels. Il faut remarquer que cette interprétation des signes est souvent un peu précaire. On a souvent noté qu'un danger spécial est de lire notre propre manière de penser et de sentir dans l'esprit que nous observons. Même quand il s'agit d'esprits semblables au nôtre par leur constitution et leur mode d'expression nous avons conscience d'un élément d'incertitude. Nous ne pouvons affirmer que la même expression de la figure ou les mêmes gestes expriment les mêmes sentiments chez tous les hommes. Cette interprétation devient plus périlleuse quand on descend de l'adulte à l'enfant et surtout aux ani-

maux inférieurs. Elle repose sur l'analogie : à mesure que les différences augmentent entre l'esprit de l'observateur et celle de l'objet observé, l'analogie devient partielle et plus riche en différences qu'en ressemblances.

Cette méthode repose sur ce postulat implicitement admis : que, sauf exceptions, l'organisation psychologique de tous les hommes est foncièrement la même et, quoiqu'il ne soit qu'une hypothèse, ce postulat est vérifié par l'expérience et la pratique. Elle opère sur la moyenne des hommes et détermine ainsi une sorte de norme au-dessus et au-dessous de laquelle se placent les individus exceptionnels. Mais ceux-ci même, génies ou débiles, par le développement excessif ou l'atrophie d'une fonction de la vie mentale, constituent un nouvel apport à la psychologie. Nous y reviendrons en traitant de la méthode comparative.

En somme, avec les précautions critiques que toute méthode exige, l'observation extérieure élargit infiniment le cercle de la psychologie ; elle permet de généraliser, ce qui est le caractère indispensable de toute science.

Toutefois la psychologie ne peut être assimilée aux sciences des corps inorganiques comme la physique et la chimie : elle étudie des individus. Il n'existe pas, dans la réalité, un homme en général ou des animaux en général ; il n'y a que des individus distincts, impénétrables l'un pour l'autre. La psychologie générale étudie les fonctions qui sont communes à tous : perception, mémoire, imagination, affectivité, etc. ; mais ces fonctions varient suivant les individus, les races,

les lieux, les époques : il faut donc qu'elle se complète par une psychologie *individuelle*. On s'y livre avec ardeur depuis quelques années, en étudiant les caractères et des questions analogues.

Faut-il donc admettre que la méthode d'observation extérieure va maintenant consister dans la description complète de chaque individu ? Nullement : ce serait métamorphoser la science en biographies ou en descriptions particulières. Mais la psychologie individuelle peut arriver au général par une autre voie : non en cherchant des lois ou des formules régulatives des phénomènes psychiques, mais en déterminant des types, c'est-à-dire des espèces et des variétés. Pour constituer cette psychologie, on a préconisé et pratiqué deux procédés dont la valeur mérite d'être discutée, ce sont les *Tests*[1] et les enquêtes ou questionnaires.

I. — La méthode des *tests* (épreuve) consiste dans la détermination, chez un homme normal, des caractères physiques et psychiques qui lui sont propres. Les premiers essais de ce genre ont été publiés aux Etats-Unis en 1897. Ils forment la base de l'anthropométrie dont nous n'avons pas à nous occuper. D'après les promoteurs de ce procédé, les *tests* ont une grande valeur pour déterminer la nature et la partie des variations individuelles et des différences de classes. Ils sont instructifs surtout quand ils peuvent fournir des résultats statistiques et sont appliqués à des

1. Ce mot anglais, dans le sens où il est pris par les psychologues, ne peut être traduit exactement dans notre langue.

groupes (élèves de différents âges et de différents sexes, classes laborieuses ou pauvres, gens de loisir).

Nous laissons de côté les *tests* relatifs au corps pour ne mentionner que ceux qui impliquent à un degré quelconque des facteurs psychologiques.

Recherches sur la capacité sensorielle : exemple pour l'oreille, sa finesse, étendue des sons qu'elle peut percevoir, exactitude à déterminer la hauteur d'un son — sur la capacité motrice (énergie, étendue, rapidité des mouvements, etc.) — sur la capacité perceptive : par exemple pour l'œil, percevoir les plus petites différences de longueur, de surface. Plus psychologiques sont les expériences relatives à la rapidité mentale (réaction à divers stimulus), à la mémoire, à l'association des états de conscience, à l'attention, à l'imagination ou faculté d'invention. Pour ces derniers cas, la valeur du *tests* paraît assez faible, car elle consiste en faits tellement simples (par exemple compléter une phrase interrompue d'une manière correcte et intelligible) qu'on ne peut préjuger si la conclusion qu'on en tire est légitime pour les opérations complexes. Ces déterminations sont faites en général d'après l'une des trois méthodes employées par la psychophysique : des cas vrais et faux, des erreurs moyennes, des plus petites différences perceptibles.

La méthode des *tests* a donné des résultats très appréciables pour la constitution de la psychologie individuelle et même pour des applications pratiques à la pédagogie. Mais ses promoteurs ont une tendance à en surfaire la valeur. Or il convient de remarquer que les statistiques et pourcen-

tages n'ont qu'une apparence de rigueur scientifique. D'autre part, ce procédé de mesure appliqué aux formes supérieures de la vie psychologique, même à la mémoire et à l'association, *a fortiori* aux opérations complexes du raisonnement, de la construction imaginative, aux passions, etc., ne sont pas toujours efficaces : ils sont trop simples, trop restreints, souvent superficiels, sans garantie suffisante et ils ne peuvent être toujours acceptés comme adéquats à la réalité.

II. — Sans que je puisse en fournir la preuve, l'enquête appliquée aux faits de psychologie comme procédé intermédiaire entre l'observation et l'expérimentation me paraît d'origine anglaise. Galton l'employait en 1880 (et même plutôt) pour des recherches consacrées à divers sujets d'anthropologie. En raison de sa facilité apparente et de l'opinion qu'elle peut être d'un emploi général, elle s'est répandue un peu partout, elle est cultivée en Amérique avec un zèle toujours croissant ; elle a même gagné le Japon.

Dans cette méthode, je distingue deux formes très différentes qu'il faut étudier séparément : l'enquête indirecte ou questionnaire proprement dit, l'enquête directe ou orale.

1° Le procédé du *questionnaire* est si connu qu'il est inutile de le décrire. On ne peut nier qu'au premier abord il est séduisant. Prendre un sujet, le réduire à quelques questions et s'adresser à un public souvent énorme par la voie des journaux, des revues ou même des feuilles détachées qu'on distribue à profusion, il semble bien que c'est « la variation et l'extension de l'expérience » exigées par les règles de la méthode. De

plus, comme la matière du psychologue est beaucoup plus hétérogène que celle du physicien ou du chimiste, il semble que par ces multiples réponses, on a plus de chances d'en pénétrer la variété, d'écarter le danger difficilement évitable d'une psychologie schématique. Malheureusement les résultats ont rarement répondu à ces belles espérances et la réflexion en découvre aisément les causes. On échoue par la nature du sujet proposé et par la faute du public auquel il s'adresse.

Si l'on choisit quelque grande et importante question, elle reste réfractaire à ce que l'on pourrait appeler la « mise en forme ». Elle est trop complexe ou trop délicate pour être découpée en morceaux et posée en termes clairs, ne comportant que des réponses précises.

Mais si les grands sujets sont interdits, le psychologue peut-il se rabattre sur les petits ? Ici, il est juste de reconnaître que l'emploi du questionnaire a rendu des services : ainsi c'est par ce procédé qu'on a découvert l'inaptitude totale de diverses personnes pour la vision mentale. Toutefois, le succès est dû à la simplicité des questions ; quoique d'ordre psychologique, elles ne dépassent pas de beaucoup le niveau d'une enquête sur le poids, la couleur des yeux ou des cheveux et autres particularités physiques.

Enfin, il y a aussi les difficultés qui proviennent du public interrogé. Il faudrait être assuré de deux choses : la véracité des répondants, leur compétence. Or, sauf les cas où l'on s'adresse à un public bien connu — par conséquent très restreint — on est dans l'indéterminé et dépourvu de tout moyen de contrôle.

2° L'interrogation *orale* et *directe* m'inspire seule quelque confiance. Cependant, elle n'est pas sans inconvénients.

D'abord, elle est nécessairement restreinte. Ce procédé exige une connaissance suffisante du sujet interrogé, de son milieu social, de sa tournure d'esprit, de son caractère, de sa culture intellectuelle générale et spéciale. L'ignorance de tous ces facteurs nous lancerait dans l'inconnu.

Ensuite, il y a l'interprétation des réponses par le psychologue. Ceci est une équation personnelle inévitable. Tout l'effort doit tendre à la réduire au minimum. L'attitude de l'interrogateur doit être passive, réceptive, et sa vertu principale consiste à ressembler à un instrument enregistreur. Dans certaines enquêtes orales, d'ailleurs bien conduites, il semble que le psychologue intervient trop et incline le sujet vers une direction. Malgré ces inconvénients, l'enquête orale me paraît un mode d'investigation légitime.

En résumé, la méthode du questionnaire s'appuie sur le *nombre*. Elle est une adaptation du suffrage universel aux problèmes de la psychologie et trop souvent elle ne diffère pas beaucoup de ces interrogations que les journalistes adressent au grand public sur tous les sujets.

L'enquête orale, au lieu du nombre, vise à la *qualité*. On a dit avec raison que « l'étude méthodique de dix personnes par dix psychologues est incomparablement plus utile que le remplissage d'une centaine de feuilles signées ou non signées ».

Pour conclure, l'enquête n'est qu'une méthode auxiliaire et elle n'est utile que si on accorde à la critique le rôle important qu'elle mérite. Il

est double : critique des procédés, critique des témoignages.

*
* *

Nous avons insisté sur les enquêtes et les *tests* parce qu'ils sont d'institution récente, et ne sont pas encore étudiés dans la plupart des traités. Pour en finir avec la méthode d'observation objective, il reste à parler de celle que j'ai appelée indirecte, parce qu'elle a pour matière, non l'homme vivant et en personne, mais les *produits* de l'esprit humain fixés dans les diverses formes de son histoire.

La psychologie occupe une position privilégiée, lorsqu'elle se met à sa vraie place, au cœur de la réalité. Elle a sa racine dans la nature, son épanouissement dans la société. D'autre part, elle s'appuie sur les sciences biologiques d'où elle tire son suc et sa force, puisqu'elles sont la condition nécessaire de la vie psychologique ; puisque la conscience dans ses manifestations multiples dépend de tout l'organisme et en particulier du système nerveux. D'une part, elle est la base des sciences dites morales qui ne sont que les manifestations de l'esprit dans l'espace et le temps. Son rapport avec ces sciences est à peu près le même que celui de la mécanique avec les sciences physiques et naturelles, c'est-à-dire qu'il comporte le plus haut degré de généralité. Elle arrive dans le développement social à la pleine conscience d'elle-même et à la satisfaction de ses tendances multiples. Actuellement on est généralement d'accord pour admettre que le développement de l'esprit individuel dépend des condi-

tions sociales, que l'étude de ces conditions aide la psychologie et est aidée par elle.

Enumérons les principales créations de l'activité humaine qui peuvent compléter la psychologie et lui permettre de dépasser les limites étroites de l'individu.

Les langues, disait Max Müller, contiennent une psychologie pétrifiée. Les trois grandes classes d'idiomes — monosyllabiques, agglutinantes, à flexions — correspondent à des formes différentes de mentalité, quoique ces caractères différentiels soient loin d'être fixés avec précision, et cela n'est pas vrai seulement des races ; les variétés de langues d'origine aryenne ou sémitique reflètent le mode habituel de penser et de sentir des divers peuples : précis ou vague, net ou fluide, rationnel ou émotionnel.

L'histoire au sens ordinaire du mot, celle des dynasties, des révolutions, des guerres — surtout dans les mémoires et biographies — nous montre les idées, les passions, les appétits prodigieusement agrandis par la scène du monde. Elle nous les présente en grossissement. Taine a pu écrire : expliquer une révolution, c'est faire une page de psychologie.

Comment pénétrer dans l'intimité profonde et les variétés si nombreuses du sentiment religieux, sans l'histoire des religions ? Sans elle, on reste confiné dans l'abstraction stérile et vide : on n'a qu'une psychologie arbitraire, tronquée et misérable.

Même remarque pour le sentiment moral. C'est l'histoire des mœurs, des législations, des institutions politiques et sociales qui en fait comprendre l'évolution, et ces variations, au cours des

siècles, sur lesquelles les moralistes de toutes les écoles ont tant disserté.

Comment comprendre la nature et la puissance de l'imagination créatrice sans l'histoire des arts. La littérature en particulier n'est-elle pas un instrument d'analyse ? et il ne manque pas de romanciers qui, à juste titre, se sont intitulés psychologues.

Enfin les sciences elles-mêmes sont indispensables pour comprendre l'évolution des idées générales, ce qu'on a appelé l'histoire des concepts. Assurément ce n'est pas l'analyse subjective et individuelle qui toute seule nous instruira sur ce point.

Sans insister davantage, on voit que la psychologie trouve partout à glaner et même à moissonner. Sans doute, il faut reconnaître qu'ici sa méthode est beaucoup plus précaire et que l'interprétation est plus souvent probable que certaine. Il ne faut pas oublier qu'elle n'observe plus directement les hommes, qu'elle ne les atteint qu'à travers leurs œuvres qui ne sont que des signes dont la transparence n'est pas toujours suffisante.

Tous ces matériaux permettent l'emploi de la *méthode comparative* qui n'a été introduite en psychologie que récemment, à l'imitation des sciences naturelles. Tant qu'on est resté enfermé presque exclusivement dans l'observation intérieure, cette méthode n'a pu être soupconnée. A la fin du XVIIIe siècle, un analyste aussi pénétrant que Hume qui, en sa double qualité d'historien et de psychologue aurait dû avoir un goût décidé pour l'étude de l'homme réel, concret, écrivait cependant cette phrase : « Pour connaître les Grecs

et les Romains, étudiez les Français et les Anglais d'aujourd'hui : les hommes décrits par Polybe et Tacite ressemblent aux gens qui nous entourent.» De nos jours, nous pensons différemment, nous croyons que cette étude abstraite, réduite à quelques traits généraux fait connaître l'homme et non pas les hommes ; nous croyons que tous les membres de l'humanité n'ont pas été jetés dans le même moule et nous sommes curieux des plus petites différences.

La méthode comparative a pour but de les établir. Par exemple, en face de la psychologie des peuples civilisés, elle place celle des primitifs reconstituée d'après leurs croyances, leurs mœurs, leurs institutions, leurs langages, le développement inégal de leurs facultés où l'impulsion prédomine. Elle est donc un procédé propre de la psychologie individuelle ou collective, complémentaire de la psychologie générale.

A la méthode comparative on doit rattacher la *méthode génétique* qui au fond n'en est qu'une variété, une forme qui par sa simplicité fait mieux comprendre la nature et la valeur de ce procédé d'investigation. Elle a pour but de découvrir et de retracer les phases successives du développement de l'esprit humain dans l'individu ou dans l'histoire. Par elle nous comprenons comment il existe dans l'homme des instincts, des sentiments et même des concepts d'une solidité inébranlable qui sont comme le squelette et l'ossature de notre constitution mentale, étant le résultat organisé d'expériences sans nombre, fixées et transmises par l'hérédité dans l'espèce et au delà d'elle dans les espèces. Elle nous montre que sur cette solide assise reposent d'autres

manifestations de la vie psychique, moins stables, semi-organisées. Enfin elle nous montre au-dessus des manifestations plus complexes, plus instables, plus rares, celles que la dissolution détruit les premières parce qu'elles sont les dernières formées. Cette introduction de l'idée de genèse en psychologie, cette substitution de l'hypothèse d'un développement lent à travers les espèces et dans l'individu — ce qu'on peut appeler d'un seul mot la méthode embryologique — a contribué à l'éclosion de beaucoup d'ouvrages. Ceux qui depuis une trentaine d'années ont été consacrés à la psychologie de l'enfant peuvent être donnés comme exemple de la méthode génétique. On pourrait aisément en indiquer d'autres.

III

L'*expérimentation* en psychologie comme dans toute science est une observation faite dans des conditions déterminées d'avance et qui a pour but de simplifier le problème, en éliminant tout ce qui lui est étranger. Elle se présente sous trois formes principales.

1° Etude directe des phénomènes physiologiques et par suite, indirectement des états de conscience concomitants.

2° Etude directe des phénomènes psychiques.

3° Etude des troubles morbides considérés comme un procédé de décomposition et d'analyse.

A ces trois formes correspondent les dénominations de psychologie physiologique, psychophysique, psychologie pathologique.

I. — Pendant de longs siècles, la psychologie est restée assez indifférente aux ressources qu'elle pouvait tirer de l'étude des fonctions corporelles. Il n'y a pas trop lieu de s'en étonner, car la constitution de la physiologie comme science ne date guère que du commencement du XIXe siècle et il n'y aurait eu aucun profit pour le psychologue à s'appuyer sur un ensemble de doctrines incohérentes et mal assurées. Toute entreprise antérieure eût été prématurée, car l'ordre de développement des sciences n'est pas arbitraire : la science supérieure se réclame toujours de celle qui lui sert de point d'appui. La psychologie a besoin de la neurologie, comme la physiologie de la digestion a besoin de la chimie. Aussi n'est-il pas étonnant que des physiologistes aient fait de la psychologie sans le savoir et sans le vouloir. Leurs découvertes n'ont été qu'une physiologie prolongée ; ils furent conduits par leurs expériences à l'investigation de phénomènes plus délicats.

Ce n'est pas ici le lieu de dresser l'inventaire de ce que la psychologie doit à l'anatomie, à l'histologie du système nerveux et aux expériences pratiquées sur l'encéphale. J'indiquerai seulement l'étude précise et détaillée des réflexes, des sensations organiques, des perceptions, de la motricité, des conditions matérielles de la mémoire, des sentiments, émotions et passions, de la parole et autres modes d'expression.

Il est clair que cette forme de la méthode expérimentale repose sur la connexion intime qui existe entre le psychique et le physique, entre un état de conscience et sa manifestation externe. Par ce procédé on peut découvrir des

symptômes subtils du processus mental qui échappe à l'observation pure. Ainsi les variations dans la circulation du sang, dans la respiration, dans la puissance musculaire et les sécrétions qui accompagnent les diverses phases d'une émotion peuvent être exactement mesurées par des instruments.

II. — La méthode psychophysique aspire plus haut, car elle tend à des déterminations *quantitatives*. Une science devient exacte dans la proportion dont elle use de quantités mesurables. Durant ces cinquante dernières années, de grands efforts ont été faits pour mesurer la *durée* et l'*intensité* des phénomènes psychiques. Ainsi s'est formé un corps de doctrines qui a eu pour principaux fondateurs Weber et Fechner et qu'on désigne sous le nom de psychophysique. Remarquons en passant que souvent — bien à tort — on la confond avec la psychologie physiologique. Elle n'en est qu'une partie. Au sens exact, on donne le nom de psychophysique à ces recherches expérimentales qui sont faites par les procédés rigoureux du physicien plutôt qu'à l'aide des moyens ordinaires de la physiologie. Elles ont toujours pour but des résultats ou des rapports numériques. Avec raison, on a reproché à ses fondateurs un excès de confiance et une tendance marquée pour la spéculation théorique plutôt que pour l'expérimentation proprement dite.

Quoi qu'il en soit, de ces tentatives est sortie une nouveauté : la fondation par Wundt, à Leipzig, d'un laboratoire muni de ses instruments spéciaux et spécialement consacré à des recherches quantitatives (1879). Il a servi de

modèle à une centaine d'autres actuellement épars sur la surface du globe. Les travaux poursuivis dans ces laboratoires ont été très nombreux et de valeurs inégales. Voici les principaux sujets étudiés par cette méthode : temps nécessaire pour une perception de la vue, de l'ouïe, du toucher, etc. ; durée minima de l'acte psychique le plus simple (discerner entre deux sensations) la mémoire et notamment la reproduction des durées (en général, on tend dans le souvenir à abréger celles qui sont longues et à allonger celles qui sont courtes) ; l'attention, ses oscillations et intermittences; l'association des idées étudiée minutieusement suivant une classification préalable (d'après la contiguïté, la ressemblance, la causalité, la complexité, etc.) ; temps nécessaire pour réagir à un stimulus sensoriel, de la vue, de l'ouïe, du toucher (en général et sauf des variations individuelles, la durée n'est pas la même suivant que le sujet fixe son attention sur la sensation initiale ou sur l'état musculaire qu'il doit produire pour indiquer qu'il a senti) ; durée de l'acte de juger variant suivant la matière du jugement et suivant la constitution individuelle, etc.

Comme on le voit, la méthode expérimentale offre de grands avantages et on ne peut nier qu'elle a suscité des travaux nombreux, quoique d'une importance inégale. Indépendamment des résultats acquis, elle est une excellente discipline pour l'esprit : elle force à la rigueur, elle habitue à la patience et fait obstacle aux généralisations hâtives et arbitraires ; mais elle a des inconvénients et des lacunes que ses partisans exclusifs, enclins à voir en elle la méthode exclu-

sive de la psychologie, semblent avoir quelquefois oubliés.

Ainsi les expériences sur la durée des états de conscience qui sont désignées sous le nom de *psychométrie* ne peuvent donner que des *moyennes*. Le minimum de temps nécessaire pour percevoir une lumière ou un son (on l'évalue en millièmes de seconde $= \sigma$) n'est pas le même pour chaque individu. La différence de l'un à l'autre augmente encore s'il s'agit d'une opération complexe, comme l'association d'une espèce à son genre (baleine-mammifère) et autres cas analogues. Sans doute ces expériences ont appris beaucoup de choses, notamment que la pensée n'a pas la rapidité extrême qu'on lui attribuait indûment; mais si les moyennes qu'on en extrait sont des déterminations quantitatives (ce qu'on ne peut nier), elles le sont dans un sens très relatif.

On peut faire la même remarque au sujet de la seule formule générale que la psycho-physique ait proposée, c'est-à-dire la fameuse *loi* de Weber-Fechner : « La sensation croît comme le logarithme de l'excitation. » Vivement critiquée et souvent modifiée, on ne l'accepte plus sous cette forme absolue. Ce qui en reste, c'est que la sensation augmente plus lentement que l'excitation qui la cause ; qu'un éclairage double, triple, quadruple sera senti comme moindre que le double, le triple, le quadruple. La détermination quantitative n'est qu'une approximation.

On peut aussi reprocher à beaucoup d'expériences d'être plus ou moins *artificielles*. Les conditions d'étude au laboratoire sont souvent fort différentes de celles de la vie ordinaire où le phénomène psychique se produit naturelle-

ment. Les résultats de l'expérimentation ne peuvent avoir de valeur pour l'ensemble de la vie consciente que dans la mesure où les conditions du phénomène provoqué sont les mêmes que dans la réalité. Or, tel n'est pas toujours ce qui se passe. Pour examiner comment la succession des idées se produit à l'ordinaire, on place quelquefois le sujet dans des conditions très éloignées du cours normal de la pensée. On énonce successivement des mots correspondant à divers objets et il faut répondre immédiatement par l'idée qu'ils suggèrent. Mais on élimine dans cette expérience un facteur capital — l'intérêt qui est si important dans le dynamisme de la mémoire. Il y a beaucoup de fausses expériences de ce genre, notamment en ce qui concerne les sentiments, émotions et passions. Il est très difficile de les prendre sur le vif, de les mesurer sans les éteindre ; et que penser d'émotions, joies, peines provoquées artificiellement ?

Pour que l'expérimentation soit vraiment psychologique, il est nécessaire qu'elle soit contrôlée par l'introspection ; car sans elle les résultats sont au profit de la physique ou de la physiologie, non de la psychologie proprement dite : ce qui est arrivé fréquemment. Il faut reconnaître que dans ces dernières années les psycho-physiciens ont volontiers reconnu cette erreur et se sont appliqués à l'éviter.

L'un d'eux a résumé les conditions générales de l'expérimentation comme il suit :

Une expérience est un essai ou une observation faite avec le plus grand soin, de telle manière qu'il est possible à tout autre de la *répéter* exactement. Elle aide l'observateur à éliminer

toutes les influences perturbatrices tant qu'il observe et aussi à atteindre le résultat désiré sous sa forme *pure*. Quand nous savons exactement comment nous avons procédé, d'autres peuvent parcourir la même voie et juger si nos conclusions sont vraies ou fausses, si nos instruments étaient appropriés. L'expérimentation assure ainsi la sûreté de l'observation et la connexion de chaque résultat avec ses conditions propres, en sorte que les observateurs de toutes les parties du monde peuvent travailler de concert sur le même problème psychologique.

III. — La méthode pathologique tient à la fois de l'observation pure et l'expérimentation. C'est un puissant moyen d'investigation et qui a été riche en résultats. La maladie, en effet, est une expérimentation de l'ordre le plus subtil, instituée par la nature elle-même, dans des circonstances bien déterminées et avec des procédés dont l'art humain ne dispose pas : elle atteint l'inaccessible. D'ailleurs, si la maladie ne se chargeait pas de désorganiser pour nous le mécanisme de l'esprit et de nous faire mieux comprendre ainsi son fonctionnement normal, qui donc oserait risquer des expériences que la morale la plus vulgaire réprouve? Se trouverait-il un homme pour les subir et un autre pour les tenter? La physiologie et la pathologie — celles de l'esprit aussi bien que celles du corps — ne s'opposent donc pas l'une à l'autre comme deux contraires, mais comme deux parties d'un même tout.

Cette méthode trouve des ressources copieuses dans l'étude des maladies du cerveau, des névroses (hystérie, neurasthénie, épilepsie), des

formes variées de la folie et de certains phénomènes anormaux ou rares (somnambulisme naturel et provoqué, changement et dissolution de la personnalité).

Au reste, toutes les manifestations de l'activité mentale peuvent être étudiées sous une forme pathologique. Les perceptions conduisent aux hallucinations ; la mémoire a ses disparitions (amnésie), ses excitations (hypermnésie), ses illusions (paramnésie). La puissance volontaire peut être anéantie (aboulie), paralysée par les tendances impulsives. Tout le monde connaît les anomalies de l'association des idées chez les fous. La pathologie des opérations logiques et de l'imagination créatrice a été négligée. La dernière serait très difficile, le sain et le morbide étant quelquefois indiscernables dans le monde de la fantaisie : cependant je ne la crois pas impossible.

L'étude des troubles du langage et des signes d'expression est un des meilleurs exemples à produire pour montrer combien est fructueuse la méthode pathologique. La faculté de la parole volontaire, de la répétition des mots entendus, de la lecture à haute voix, de l'écriture volontaire ou sous la dictée, de la compréhension des mots parlés, des mots écrits, la faculté de copier : toutes ces facultés peuvent être abolies ensemble ou par groupes de trois, quatre, cinq, les autres restant intactes. Sommes-nous donc fondés à dire que la maladie est un merveilleux instrument d'analyse? Il y a plus; elle instruit sur l'état normal; car ces variétés d'aphasie ont contribué à mettre en relief la prédominance marquée, chez l'un, des images de la vue (type

visuel), chez d'autres des images sonores ou motrices (type auditif, type moteur).

Je n'ai encore rien dit des rapports de la méthode pathologique avec les sentiments. Tous peuvent revêtir la forme morbide; mais il est un groupe qui, en raison de son importance morale et sociale, a donné naissance à une science nouvelle : l'anthropologie criminelle. A la vérité, elle appartient pour une bonne moitié à l'anatomie et à la physiologie du corps; pour le reste, elle relève de la psychologie ou de la morale. Elle étudie les délinquants, les gens placés sur la frontière de la folie; elle montre que le langage populaire ne se trompe pas en disant de certains individus « qu'ils n'ont rien d'humain ». Il peut exister dans l'organisation du sentiment des lacunes comparables à la privation d'un membre ou d'une fonction dans l'organisation physique : ce sont des êtres que la nature ou les circonstances ont *déshumanisés*. La psychologie des foules qui étudie le rôle des sentiments et des impulsions dans les groupes et collectivités est comme un rameau détaché de ce tronc. De date récente, elle s'est affirmée dans quelques œuvres de valeur.

Il ne conviendrait pas de quitter la méthode pathologique sans rappeler ce qui est dû au procédé si longtemps décrié de l'hypnotisme. On n'a pas craint de l'appeler « une vivisection morale », véritable expérimentation qui permet de voir et de faire fonctionner sous nos yeux le mécanisme intellectuel, comme le physiologiste voit et fait fonctionner sous ses yeux la machine organique. Les paralysies produites et guéries par suggestion, les amnésies artificielles, les hallucinations

positives et négatives, les suggestions d'actes à longue échéance : tous ces faits et bien d'autres ont posé de vieux problèmes sous une nouvelle forme.

Mais le point important à noter, c'est que ce procédé est le plus efficace pour pénétrer dans une région de la psychologie dont nous n'avons pas encore fait mention : l'activité inconsciente ou subconsciente. Il est clair que la méthode d'observation intérieure est ici d'usage nul ou ne peut servir qu'à tromper. C'est avec l'emploi toujours grandissant de la méthode objective que la psychologie confinée longtemps dans la conscience claire, a étendu son domaine et s'est habituée à admettre que ce qui tombe sous ses prises n'est qu'une faible partie de notre vie mentale.

Quelque opinion qu'on adopte sur la nature du subconscient, qu'on le considère comme simplement physiologique ou comme un degré très affaibli de la conscience qui peut même devenir infinitésimal, cela importe peu à la question de méthode.

Or, l'hypnotisme est un procédé excellent pour explorer ce monde souterrain qui, connu ou inconnu, fait partie de nous-même, qui conserve notre passé et qui est un réservoir de tendances virtuelles, d'énergie potentielle n'ayant pas réussi à faire irruption dans la conscience. Il a permis de les atteindre directement, non par induction ou par hypothèse sur leurs influences latentes. Il peut, chez certaines personnes, ressusciter quelque épisode de leur vie totalement oublié, ou révéler quelques traits de caractère totalement insoupçonnés de l'hypnotisé lui-même.

*
* *

La précédente énumération des méthodes en psychologie ne doit pas faire illusion par le nombre. Malgré de profondes différences, au fond, elles sont toujours une *analyse* et leur but est unique. La psychologie qui a pour objet les états de conscience et rien qu'eux, ne peut être une science nettement déterminée et à limites fixes. On a pu dire que « toute chose dans le ciel et sur la terre, en tant qu'elle est *connue*, est une matière psychologique ». Elle inclut les faits les plus vulgaires de la vie animale et humaine comme les manifestations les plus hautes de l'art, de la science, de la religion ou les plus complexes des sociétés très civilisées. Ses problèmes peuvent donc être attaqués de beaucoup de manières et par des voies bien diverses. Tout psychologue n'est pas également apte à manier toute méthode : l'essentiel est qu'il suive sa vocation et qu'il choisisse bien; et il est regrettable que quelques-uns paraissent imbus de ce préjugé qu'un seul procédé — le leur — est bon et que les autres sont sans portée scientifique.

Si c'était le lieu de faire l'histoire des méthodes partielles dont l'ensemble constitue la méthode psychologique dans sa totalité, il serait facile de montrer qu'elle est formée d'une superposition d'apports successifs, analogues à des stratifications géologiques et qu'elles se sont produites dans les temps modernes sous l'influence de la discipline prépondérante. D'abord c'est la physique de Newton : elle guide Hartley, le fondateur de l'associationisme; il le déclare

explicitement. Puis, l'influence de la biologie s'affirme au dernier siècle. Puis de plus en plus soucieuse de l'exactitude, la méthode devient l'expérimentation des laboratoires et même, avec les psychophysiciens, elle aspire à la détermination quantitative. Enfin, sous l'influence du darwinisme, la méthode génétique ou d'évolution pénètre dans la psychologie comme dans les sciences de la nature et dans l'histoire. Probablement, l'avenir fera d'autres tentatives ; car, malgré tant de moyens d'investigation, il reste beaucoup de problèmes obscurs et une grande place à l'inconnu.

Th. Ribot,
de l'Institut,
Professeur honoraire au Collège de France.

SOCIOLOGIE ET SCIENCES SOCIALES

I. — Historique

Quand il s'agit d'une science nouvelle comme la sociologie, qui, née d'hier, est seulement en train de se constituer, le meilleur moyen d'en faire comprendre la nature, l'objet et la méthode, est d'en retracer sommairement la genèse.

Le mot de sociologie a été créé par Auguste Comte pour désigner la science des sociétés [1]. Si le mot était nouveau, c'est que la chose même était nouvelle ; un néologisme était nécessaire. Sans doute, en un sens très large, on peut dire que la spéculation sur les choses politiques et sociales a commencé avant le XIXe siècle : la *République* de Platon, la *Politique* d'Aristote, les innombrables traités dont ces deux ouvrages ont été comme le modèle, ceux de Campanella, de Hobbes, de Rousseau et de tant d'autres traitaient déjà de ces questions. Mais ces diverses

1. Le mot, formé d'un mot latin et d'un mot grec accouplés, a un caractère hybride que les puristes lui ont souvent reproché. Mais, en dépit de cette formation vicieuse, il a aujourd'hui conquis droit de cité dans toutes les langues européennes.

études différaient par un trait essentiel de celles que désigne le mot de sociologie. Elles avaient, en effet, pour objet, non pas de décrire et d'expliquer les sociétés *telles qu'elles sont* ou *telles qu'elles ont été*, mais de chercher ce que les sociétés *doivent être*, *comment elles doivent s'organiser* pour être aussi parfaites que possible. Tout autre est le but du sociologue qui étudie les sociétés simplement *pour les connaître* et *les comprendre*, comme le physicien, le chimiste, le biologiste font pour les phénomènes physiques, chimiques et biologiques. Sa tâche est uniquement de bien déterminer les faits dont il entreprend l'étude, de découvrir les lois selon lesquelles ils se produisent, en laissant à d'autres le soin de trouver, s'il y a lieu, les applications possibles des propositions qu'il établit.

C'est dire que la sociologie ne pouvait apparaître avant qu'on n'eût acquis le sentiment que les sociétés, comme le reste du monde, sont soumises à des lois qui dérivent nécessairement de leur nature et qui l'expriment. Or cette conception a été très lente à se former. Pendant des siècles, les hommes ont cru que même les minéraux n'étaient pas régis par des lois définies, mais pouvaient prendre toutes les formes et toutes les propriétés possibles pourvu qu'une volonté suffisamment puissante s'y appliquât. On croyait que certaines formules ou certains gestes avaient la vertu de transformer un corps brut en un être vivant, un homme en un animal ou une plante, et inversement. Cette illusion, pour laquelle nous avons une sorte de penchant instinctif, devait naturellement persister beaucoup plus longtemps dans le domaine des faits sociaux.

En effet, comme ils sont beaucoup plus complexes, l'ordre qu'ils présentent est bien plus difficile à apercevoir et, par suite, on est porté à croire que tout s'y passe d'une manière contingente et plus ou moins désordonnée. A première vue, quel contraste n'y a-t-il pas entre la suite simple, rigoureuse, avec laquelle se déroulent les phénomènes de l'univers physique, et l'aspect chaotique, capricieux, déconcertant des événements qu'enregistre l'histoire ! D'un autre côté, la part même que nous y prenons nous inclinait à penser qu'étant par nous ils dépendaient exclusivement de nous et pouvaient être ce que nous voulions qu'ils fussent. Dans ces conditions, il n'y avait pas lieu de les observer puisqu'ils n'étaient rien par eux-mêmes, mais tenaient tout ce qu'ils avaient de réel de notre seule volonté. De ce point de vue, la seule question qui pouvait se poser était de savoir, non pas ce qu'ils étaient et suivant quelles lois ils procédaient, mais ce que nous pouvions et devions souhaiter qu'ils fussent.

C'est seulement à la fin du XVIIIe siècle que l'on commença à entrevoir que le règne social a ses lois propres, comme les autres règnes de la nature. Montesquieu, en déclarant que « les lois sont les rapports nécessaires qui dérivent de la nature des choses », entendait bien que cette excellente définition de la loi naturelle s'appliquait aux choses sociales comme aux autres ; et son *Esprit des Lois* a précisément pour objet de montrer comment les institutions juridiques sont fondées dans la nature des hommes et de leurs milieux. Peu après, Condorcet entreprenait de retrouver l'ordre suivant lequel s'étaient faits les

progrès de l'humanité[1] ; ce qui était la meilleure manière de faire voir qu'ils n'avaient rien de fortuit, de capricieux, mais dépendaient de causes déterminées. En même temps, les économistes enseignaient que les faits de la vie industrielle et commerciale sont gouvernés par des lois qu'ils croyaient même avoir découvertes.

Cependant, et bien que ces différents penseurs aient préparé la voie à la conception sur laquelle repose la sociologie, ils n'avaient encore qu'une notion assez ambiguë et flottante de ce que sont les lois de la vie sociale. Ils ne voulaient pas dire, en effet, que les faits sociaux s'enchaînent les uns aux autres suivant des relations de cause à effet, définies et invariables, que le savant cherche à observer par des procédés analogues à ceux qui sont employés dans les sciences de la nature. Mais ils entendaient seulement que, étant donnée la nature de l'homme, une voie se trouvait par cela même tracée qui seule était naturelle et que l'humanité devait suivre *si elle voulait être d'accord avec elle-même et remplir ses destinées* ; mais il restait possible qu'elle s'en écartât.

Et en fait on estimait qu'il lui était arrivé sans cesse de s'en écarter par suite de déplorables aberrations qu'on ne prenait pas, d'ailleurs, grand soin d'expliquer. Pour les économistes, par exemple, la véritable organisation économique, la seule dont la science ait à connaître, n'a, pour ainsi dire, jamais existé ; elle est plus idéale que réelle ; car les hommes, sous l'influence de leurs gouvernants et par suite d'un véritable aveuglement, s'en seraient toujours laissé détourner.

1. Dans le *Tableau des progrès de l'esprit humain.*

C'est dire qu'on la construisait déductivement beaucoup plus qu'on ne l'observait; et l'on revenait ainsi, quoique d'une manière indirecte, aux conceptions qui étaient à la base des théories politiques de Platon et d'Aristote.

C'est seulement au début du XIXe siècle, avec Saint-Simon d'abord[1], et surtout avec Auguste Comte son disciple, qu'une conception nouvelle s'est définitivement fait jour.

Procédant, dans son *Cours de philosophie positive*, à la revue synthétique de toutes les sciences constituées de son temps, il constata qu'elles reposaient toutes sur cet axiome que les faits dont elles traitent sont liés suivant des rapports nécessaires, c'est-à-dire sur le principe déterministe; d'où il conclut que ce principe, qui avait été ainsi vérifié dans tous les autres règnes de la nature, depuis le règne des grandeurs mathématiques jusqu'à celui de la vie, devait être également vrai du règne social. Les résistances mêmes qui s'opposent aujourd'hui à cette extension nouvelle de l'idée déterministe ne doivent pas arrêter le philosophe; car elles se sont régulièrement produites chaque fois qu'il a été question d'étendre à un règne nouveau ce postulat fondamental, et elles ont toujours été vaincues. Il fut un temps où l'on se refusait à l'admettre même dans le monde des corps bruts; il s'y est établi. On l'a nié ensuite des êtres vivants et pensants; il y est maintenant incontesté.

1. Principaux ouvrages de Saint-Simon concernant la science sociale : *Mémoire sur la science de l'homme*, 1813; *l'Industrie*, 1816-1817; *l'Organisateur*, 1819; *Du système industriel*, 1821-1822; *Catéchisme des industriels*, 1822-1824. *De la physiologie appliquée aux améliorations sociales.*

On peut donc être assuré que les mêmes préjugés auxquels il vient se heurter, quand il s'agit de l'appliquer au monde social, ne dureront eux-mêmes qu'un temps. D'ailleurs, puisque Comte posait comme une vérité d'évidence — vérité, au reste, qui est maintenant incontestée — que la vie mentale de l'individu est soumise à des lois nécessaires, comment les actions et les réactions qui s'échangent entre les consciences individuelles, quand elles sont associées, ne seraient-elles pas soumises à la même nécessité ?

De ce point de vue, les sociétés cessaient d'apparaître comme une sorte de matière indéfiniment malléable et plastique, que les hommes peuvent, pour ainsi dire, pétrir à volonté ; il fallait désormais y voir des réalités, dont la nature s'impose à nous et qui ne peuvent être modifiées, comme toutes choses naturelles, que conformément aux lois qui les régissent. Les institutions des peuples ne pouvaient plus être considérées comme le produit de la volonté, plus ou moins bien éclairée, des princes, des hommes d'État, des législateurs, mais comme les résultantes nécessaires de causes déterminées qui les impliquaient physiquement. Etant donnée la manière dont un peuple est composé à un moment de son histoire, l'état de sa civilisation à cette même époque, il en résulte une organisation sociale, caractérisée de telle ou telle façon, tout comme les propriétés d'un corps résultent de sa constitution moléculaire. On se trouve donc en face d'un ordre de choses stable, immuable, et une science pure devient, à la fois, possible et nécessaire pour le décrire et l'expliquer, pour dire quels en sont les caractères et de quelles causes ils dépendent.

Cette science, purement spéculative, c'est la sociologie. Pour mieux montrer les rapports qu'elle soutient avec les autres sciences positives, Comte l'appelle souvent la physique sociale.

On a dit parfois que cette manière de voir impliquait une sorte de fatalisme. Si le réseau des faits sociaux est d'une trame aussi solide et aussi résistante, ne s'ensuit-il pas que les hommes sont incapables de le modifier et que, par conséquent, ils ne peuvent agir sur leur propre histoire ? Mais l'exemple de ce qui s'est passé dans les autres règnes de la nature montre combien ce reproche est injustifié. Il fut un temps où, comme nous le rappelions tout à l'heure, l'esprit humain ignorait que l'univers physique eût ses lois. Est-ce à ce moment que l'homme a eu le plus d'empire sur les choses ? Sans doute, le sorcier, le magicien croyaient pouvoir, à volonté, transmuter les corps les uns dans les autres ; mais le pouvoir qu'ils s'attribuaient ainsi était, nous le savons aujourd'hui, purement imaginaire. Au contraire, depuis que les sciences positives de la nature se sont constituées (et elles se sont constituées, elles aussi, en prenant pour base le postulat déterministe), que de changements n'avons-nous pas introduits dans l'univers ! Il en sera de même dans le règne social. Jusqu'à hier, on croyait que tout y était arbitraire, contingent, que les législateurs ou les rois pouvaient, tout comme les alchimistes d'autrefois, changer à leur guise la face des sociétés, les faire passer d'un type dans un autre. En réalité, ces prétendus miracles étaient illusoires ; et à combien de graves méprises a donné lieu cette illusion encore trop répandue ! Au contraire, c'est la sociologie qui,

en découvrant les lois de la réalité sociale, nous permettra de diriger avec plus de réflexion que par le passé l'évolution historique ; car nous ne pouvons changer la nature, morale ou physique, qu'en nous conformant à ses lois. Les progrès de l'art politique suivront ceux de la science sociale, comme les découvertes de la physiologie et de l'anatomie ont aidé au perfectionnement de l'art médical, comme la puissance de l'industrie s'est centuplée depuis que la mécanique et les sciences physico-chimiques ont pris leur essor. Les sciences, en même temps qu'elles proclament la nécessité des choses, nous mettent entre les mains les moyens de la dominer[1]. Comte fait même remarquer avec insistance que, de tous les phénomènes naturels, les phénomènes sociaux sont les plus malléables, les plus accessibles aux variations, aux changements, parce qu'ils sont les plus complexes. La sociologie n'impose donc nullement à l'homme une attitude passivement conservatrice ; au contraire, elle étend le champ de notre action par cela seul qu'elle étend le champ de notre science. Elle nous détourne seulement des entreprises irréfléchies et stériles,

1. On objecte que le déterminisme sociologique est inconciliable avec le libre arbitre. Mais si vraiment l'existence de la liberté impliquait la négation de toute loi déterminée, elle est un obstacle insurmontable, non seulement pour les sciences sociales, mais pour toutes les sciences; car, comme les volitions humaines sont toujours liées à quelques mouvements extérieurs, elle rend le déterminisme tout aussi inintelligible en dehors de nous qu'au dedans. Cependant, nul ne conteste plus, même parmi les partisans du libre arbitre, la possibilité des sciences physiques et naturelles. Pourquoi en serait-il autrement de la sociologie?

inspirées par la croyance qu'il nous est possible de changer, comme nous voulons, l'ordre social, sans tenir compte des habitudes, des traditions, de la constitution mentale de l'homme et des sociétés.

Mais, si essentiel que soit ce principe, il ne suffisait pas à fonder la sociologie. Pour qu'il y eût matière à une science nouvelle, appelée de ce nom, encore fallait-il que l'objet dont elle entreprenait l'étude ne se confondît avec aucun de ceux dont traitent les autres sciences. Or, au premier abord, il peut paraître que la sociologie est indistincte de la psychologie ; et la thèse a été effectivement soutenue, notamment par M. Tarde[1]. La société, dit-on, n'est rien en dehors des individus qui la composent ; ils sont tout ce qu'elle a de réel. Comment donc la science des sociétés pourrait-elle se distinguer de la science des individus, c'est-à-dire de la psychologie ?

A raisonner ainsi, on pourrait soutenir également que la biologie n'est qu'un chapitre de la physique et de la chimie, car la cellule vivante est composée exclusivement d'atomes de carbone, d'azote, etc. dont traitent les sciences physico-chimiques. Mais c'est oublier qu'un tout a très souvent des propriétés très différentes de celles que possèdent les parties qui le constituent. S'il n'y a dans la cellule que des éléments minéraux, ceux-ci, en se combinant d'une certaine manière, dégagent des propriétés qu'ils n'ont pas quand ils ne sont pas combinés ainsi, et qui sont caractéristiques de la vie (propriétés de se nourrir et de se reproduire) ; ils forment donc, par le fait de leur syn-

1. Voir notamment son livre sur *l'Imitation*.

thèse, une réalité d'un genre tout nouveau qui est la réalité vivante, et qui constitue l'objet de la biologie. De même, les consciences individuelles, en s'associant d'une manière stable, dégagent, par suite des rapports qui s'échangent entre elles, une vie nouvelle, très différente de celle dont elles seraient le théâtre si elles étaient restées isolées les unes des autres ; c'est la vie sociale. Les institutions et les croyances religieuses, les institutions politiques, juridiques, morales, économiques, en un mot tout ce qui constitue la civilisation n'existerait pas s'il n'y avait pas de société.

En effet, la civilisation suppose une coopération non seulement de tous les membres d'une même société, mais encore de toutes les sociétés qui sont en rapports les unes avec les autres. De plus, elle n'est possible que si les résultats obtenus par une génération se transmettent à la génération suivante de manière à pouvoir s'accumuler avec ceux qu'obtiendra cette dernière. Mais pour cela, il faut que les générations successives, à mesure qu'elles parviennent à l'âge adulte, ne se séparent pas les unes des autres, mais restent étroitement en contact, c'est-à-dire associées d'une manière permanente. Voilà donc tout un vaste ensemble de choses qui ne sont que parce qu'il y a des associations humaines, et qui varient suivant ce que sont ces associations, suivant la manière dont elles sont organisées. Trouvant leur explication immédiate[1]

1. Sans doute, la nature des sociétés tient, en partie, à la nature de l'homme en général ; mais l'explication directe, immédiate des faits sociaux se trouve dans la nature de la société, car, autrement, la vie sociale n'aurait pas plus varié que les attributs constitutifs de l'humanité.

dans la nature, non des individus, mais des sociétés, ces choses constituent donc la matière d'une science nouvelle, distincte de la psychologie individuelle, quoiqu'en rapport avec cette dernière : c'est la sociologie.

Ces deux principes, Comte ne se contenta pas de les établir théoriquement ; il entreprit de les mettre en pratique et, pour la première fois, il tenta de faire une sociologie. C'est à quoi sont employés les trois derniers volumes du *Cours de philosophie positive*. Du détail de son œuvre il ne reste plus grand'chose aujourd'hui. Les connaissances historiques et surtout ethnographiques étaient encore trop rudimentaires de son temps pour offrir aux inductions du sociologue une base suffisamment solide. De plus, comme nous le verrons plus loin, Comte ne se rendait pas compte de la multiplicité des problèmes que posait la science nouvelle : il croyait pouvoir la faire d'un coup, comme on fait un système de métaphysique, alors que la sociologie, comme toute science, ne peut se constituer que progressivement, en abordant les questions les unes après les autres. Mais l'idée était infiniment féconde et survécut au fondateur du positivisme.

Elle fut reprise d'abord par Herbert Spencer[1]. Puis, dans ces trente dernières années, toute une légion de travailleurs se leva, un peu dans tous les pays, mais tout particulièrement en France, qui s'appliquèrent à ces études. La sociologie est sortie maintenant de l'âge héroïque. Les principes sur lesquels elle repose, et qui avaient été proclamés tout d'abord d'une

1. V. ses *Principes de sociologie*, trad. fr.

manière toute philosophique et dialectique, ont reçu maintenant la confirmation des faits. Elle suppose que les phénomènes sociaux n'ont rien de contingent ni d'arbitraire. Or les sociologues ont montré qu'en effet certaines institutions morales, juridiques, certaines croyances religieuses se retrouvaient identiques à elles-mêmes partout où les conditions de la vie sociale présentaient la même identité. On a même pu constater que des usages se ressemblaient jusque dans les détails, et cela dans des pays très éloignés les uns des autres et entre lesquels il n'y a jamais eu aucune espèce de communication. Cette remarquable uniformité est la meilleure preuve que le règne social n'échappe pas à la loi du déterminisme universel[1].

II. — Les Divisions de la Sociologie : les sciences sociales particulières

Mais si, en un sens, la sociologie est une science une, elle ne laisse pas de comprendre une pluralité de questions et, par conséquent, de sciences particulières. Voyons donc quelles sont ces sciences dont elle est le *corpus*.

Déjà Comte avait senti la nécessité de la diviser : il y distinguait deux parties, la statique et la dynamique sociales. La statique étudie les sociétés en les considérant comme fixées à un moment de leur devenir et elle recherche les lois de leur équilibre. A chaque instant du temps, les individus et les groupes qui les forment sont unis entre eux par des liens d'un certain genre

1. On trouvera quelques exemples dans nos *Règles de la méthode sociologique*, p. 117.

qui assurent la cohésion sociale, et les divers états d'une même civilisation soutiennent les uns avec les autres des connexions définies : à tel état de la science, par exemple, correspond tel état de la religion, de la morale, de l'art, de l'industrie, etc. La statique essaye de déterminer en quoi consistent ces liens de solidarité et ces connexions. La dynamique, au contraire, considère les sociétés dans leur évolution, et s'applique à découvrir la loi de leur développement. Mais l'objet de la statique, telle que l'entendait Comte, est très peu déterminé, comme il ressort de la définition qui vient d'en être donnée : aussi ne tient-elle que quelques pages dans le *Cours de philosophie*. Toute la place est prise par la dynamique. Or le problème que traite la dynamique est unique : suivant Comte, une seule et même loi domine la suite de l'évolution; c'est la fameuse loi des trois états[1]. Rechercher cette loi, voilà quel serait le seul objet de la dynamique sociale. Ainsi entendue, la sociologie se réduirait donc à une seule question, si bien que, du jour où cette question unique serait résolue — et Comte croyait en avoir trouvé la solution définitive — la science serait faite. Or il est dans la nature même des sciences positives de n'être jamais achevées. Les réalités dont elles traitent sont beaucoup trop complexes pour pouvoir être jamais épuisées. Si la sociologie est une science positive, on peut être assuré qu'elle ne tient pas dans un seul problème, mais comprend, au contraire, des parties

1. C'est la loi en vertu de laquelle l'humanité aurait successivement passé et devait nécessairement passer par trois âges : l'âge théologique, puis l'âge métaphysique, et enfin l'âge de la science positive.

différentes, des sciences distinctes qui correspondent aux divers aspects de la vie sociale.

Il y a, en réalité, autant de branches de la sociologie, autant de sciences sociales particulières qu'il y a d'espèces différentes de faits sociaux. Une classification méthodique des faits sociaux serait prématurée et, en tout cas, elle ne saurait être tentée ici. Mais il est possible d'indiquer quelles en sont les catégories principales.

Tout d'abord, il y a lieu d'étudier la société dans son aspect extérieur. Considérée sous cet angle, elle apparaît comme formée par une masse de population, d'une certaine densité, disposée sur le sol d'une certaine façon, dispersée dans les campagnes ou concentrée dans les villes, etc. ; elle occupe un territoire plus ou moins étendu, situé de telle ou telle manière par rapport aux mers et aux territoires des peuples voisins, sillonné plus ou moins de cours d'eau, de voies de communication de toutes sortes qui mettent en rapports, ou plus lâches ou plus intimes, les habitants. Ce territoire, ses dimensions, sa configuration, la composition de la population qui se meut sur sa surface, sont naturellement des facteurs importants de la vie sociale ; c'en est le substrat et, de même que, chez l'individu, la vie psychique varie suivant la composition anatomique du cerveau qui la supporte, de même les phénomènes collectifs varient suivant la constitution du substrat social. Il y a donc place pour une science sociale qui en fasse l'anatomie ; et puisque cette science a pour objet la forme extérieure et matérielle de la société, nous proposons de l'appeler *morphologie sociale*. La morphologie sociale ne doit pas, d'ailleurs, se borner à une

analyse descriptive; elle doit aussi expliquer. Elle doit chercher d'où vient que la population se masse sur certains points plutôt que sur d'autres, ce qui fait qu'elle est principalement urbaine ou principalement rurale, quelles sont les causes qui déterminent ou enrayent le développement des grandes villes, etc. On voit que cette science spéciale a elle-même une multitude indéfinie de problèmes à traiter [1].

Mais à côté du substrat de la vie collective, il y a cette vie elle-même. Nous retrouvons ici une distinction analogue à celle que l'on observe dans les autres sciences de la nature. A côté de la chimie qui étudie la manière dont les minéraux sont constitués, il y a la physique qui a pour matière les phénomènes de toute sorte dont les corps ainsi constitués sont le théâtre. En biologie, tandis que l'anatomie (appelée aussi morphologie) analyse la structure des êtres vivants, le mode de composition de leurs tissus, de leurs organes, la physiologie étudie les fonctions de ces tissus, de ces organes. De même, à côté de la morphologie sociale il y a place pour une physiologie sociale qui étudie les manifestations vitales des sociétés.

Mais la physiologie sociale est elle-même très complexe et comprend une pluralité de sciences particulières; car les phénomènes sociaux, d'ordre physiologique, sont eux-mêmes très variés.

Il y a d'abord les croyances, les pratiques et

1. Ce que les Allemands appellent l'*Anthropogeographie* n'est pas sans rapports avec ce que nous nommons morphologie sociale (v. les travaux de Ratzel en Allemagne et de M. Vidal de la Blache en France).

les institutions religieuses. La religion, en effet, est une chose sociale puisqu'elle a toujours été la chose d'un groupe, à savoir d'une Église, et que même, dans la très grande généralité des cas, l'Église et la société politique se confondent. Jusqu'à des temps tout récents on était le fidèle de telles divinités par cela seul qu'on était le citoyen de tel État. En tout cas, les dogmes, les mythes ont toujours consisté en des systèmes de croyances communes à toute une collectivité et obligatoires pour tous les membres de cette collectivité. Il en est de même des rites. L'étude de la religion ressortit donc à la sociologie : elle constitue l'objet de la *sociologie religieuse*.

Les idées morales et les mœurs forment une autre catégorie, distincte de la précédente. On verra dans un autre chapitre comment les règles de la morale sont des phénomènes sociaux ; ils sont l'objet de la *sociologie morale*.

Le caractère social des institutions juridiques n'a pas besoin d'être démontré. Elles sont étudiées par la *sociologie juridique*. Celle-ci est, d'ailleurs, en rapports étroits avec la sociologie morale; car les idées morales sont l'âme du droit. Ce qui fait l'autorité d'un code, c'est l'idéal moral qu'il incarne et qu'il traduit en formules définies.

Il y a enfin les institutions économiques : institutions relatives à la production des richesses (servage, fermage, régime corporatif, entreprise patronale, régime coopératif, production en fabrique, en manufacture, en chambre, etc.), institutions relatives à l'échange (organisation commerciale, marchés, bourses, etc.), institutions relatives à la distribution (rente, intérêts, salaire, etc.).

Elles forment la matière de la *sociologie économique*.

Telles sont les principales branches de la sociologie. Il s'en faut pourtant que ce soient les seules. Le langage, qui, par certains côtés, dépend de conditions organiques, est pourtant un phénomène social; car lui aussi est toujours l'œuvre d'un groupe dont il porte la marque. Même le langage est, en général, un des éléments caractéristiques de la physionomie des sociétés, et ce n'est pas sans raison que la parenté des langues est souvent employée comme un moyen d'établir la parenté des peuples. Il y a donc matière pour une étude sociologique du langage qui est, d'ailleurs, commencée [1]. On en peut dire autant de l'esthétique; car quoique chaque artiste (poète, orateur, sculpteur, peintre, etc.) mette sa marque propre sur les œuvres qu'il crée, toutes celles qui sont élaborées dans un même milieu social et à une même époque expriment, sous des formes diverses, un même idéal qui est lui-même étroitement en rapport avec le tempérament des groupes sociaux auxquels ces œuvres s'adressent.

Il est vrai que certains de ces faits sont déjà étudiés par des disciplines depuis longtemps constituées; notamment, les faits économiques servent de matière à cet ensemble de recherches, d'analyses, de théories diverses que l'on désigne communément sous le nom d'économie politique. Mais, ainsi que nous l'avons dit plus haut, l'économie politique est restée jusqu'à présent

1. V. les travaux de M. Meillet et notamment le mémoire paru dans *l'Année sociologique* (t. IX), sous ce titre : *Comment les mots changent de sens.*

une étude hybride, intermédiaire entre l'art et la science; elle est beaucoup moins occupée à observer la vie industrielle et commerciale, telle qu'elle est et telle qu'elle a été, pour la connaître et en déterminer les lois, qu'à la reconstruire telle qu'elle doit être. Les économistes n'ont encore que bien faiblement le sentiment que la réalité économique s'impose à l'observateur comme les réalités physiques, qu'elle est soumise à la même nécessité et que, par suite, il faut en faire la science d'une manière toute spéculative, avant d'entreprendre de la réformer. De plus, ils étudient les faits dont ils traitent comme s'ils formaient un tout indépendant, qui se suffit et peut s'expliquer par lui-même. Or en réalité, les fonctions économiques sont des fonctions sociales, solidaires des autres fonctions collectives; et elles deviennent inexplicables quand on les abstrait violemment de ces dernières. Le salaire des ouvriers ne dépend pas seulement des rapports entre l'offre et la demande, mais de certaines conceptions morales; il hausse ou il baisse suivant l'idée que nous nous faisons du bien-être minimum que peut revendiquer un être humain, c'est-à-dire, en définitive, suivant l'idée que nous nous faisons de la personne humaine. On pourrait multiplier les exemples. En devenant une branche de la sociologie, la science économique sera naturellement arrachée à cet isolement en même temps qu'elle se pénétrera davantage de l'idée du déterminisme scientifique. Par conséquent, en prenant ainsi place dans le système des sciences sociales, elle ne se bornera pas à changer d'étiquette; elle transformera et l'esprit

dont elle est animée et les méthodes qu'elle pratique.

On voit par cette analyse combien il s'en faut que la sociologie soit une sorte de science très simple, qui tienne, comme le pensait Comte, dans un seul problème. Dès aujourd'hui, il est impossible à un sociologue de posséder l'encyclopédie de sa science; mais il faut que chaque savant s'attache à un ordre spécial de problèmes, s'il ne veut pas se contenter de vues très générales et vagues, qui pouvaient avoir leur utilité tant que la sociologie s'essayait seulement à explorer son domaine et à prendre conscience d'elle-même, mais auxquelles elle ne doit plus s'attarder désormais. Ce n'est pas à dire toutefois qu'il n'y ait pas place pour une science synthétique qui s'efforce de rassembler les conclusions générales qui se dégagent de toutes ces sciences particulières. Si différentes que soient les unes des autres les diverses classes de faits sociaux, ce ne sont pourtant que des espèces d'un même genre; il y a donc lieu de rechercher ce qui fait l'unité du genre, ce qui caractérise le fait social *in abstracto* et s'il n'y a pas des lois très générales dont les lois diverses établies par les sciences spéciales ne sont que des formes particulières. C'est l'objet de la sociologie générale, de même que la biologie générale a pour objet de dégager les propriétés et les lois les plus générales de la vie. C'est la partie philosophique de la science. Mais comme la valeur de la synthèse dépend de la valeur des analyses dont elle résulte, faire avancer ce travail d'analyse constitue la tâche la plus urgente de la sociologie.

En résumé, le tableau suivant représente schématiquement les principales divisions de la sociologie :

Morphologie sociale.	Etude de la base géographique des peuples dans ses rapports avec l'organisation sociale. Etude de la population, son volume, sa densité, sa disposition sur le sol.
Physiologie sociale .	Sociologie religieuse. — morale. — juridique. — économique. — linguistique. — esthétique.
Sociologie générale.	

III. — La méthode sociologique

Après avoir déterminé le domaine de la sociologie et ses principales subdivisions, il nous faut essayer de caractériser les principes les plus essentiels de la méthode qui est employée dans cette science.

Les principaux problèmes de la sociologie consistent à rechercher de quelle manière s'est constituée une institution politique, juridique, morale, économique, religieuse, une croyance, etc., quelles causes l'ont suscitée, à quelles fins utiles elle répond. L'histoire comparée, entendue de la manière que nous allons essayer de préciser, est le seul instrument dont dispose le sociologue pour résoudre ces sortes de questions.

En effet, pour comprendre une institution, il faut savoir de quoi elle est faite. C'est un tout complexe, formé de parties : il faut connaître ces parties, expliquer chacune d'elles à part et

la façon dont elles se sont composées ensemble. Pour les découvrir, il ne suffit pas de considérer l'institution sous sa forme achevée et récente; car, parce que nous y sommes accoutumés, elle nous paraît plutôt simple. En tout cas, rien n'indique en elle où commencent et où finissent les éléments divers dont elle est formée. Il n'y a pas de ligne de démarcation qui les sépare les uns des autres d'une manière visible, pas plus que nous n'apercevons à l'œil nu les cellules dont sont formés les tissus de l'être vivant, les molécules dont sont composés les corps bruts. Il faut un instrument d'analyse pour les faire apparaître. C'est l'histoire qui joue ce rôle. En effet, l'institution considérée s'est constituée progressivement, fragment par fragment; les parties qui la forment sont nées les unes après les autres, et se sont ajoutées plus ou moins lentement les unes aux autres; il suffit donc d'en suivre la genèse dans le temps, c'est-à-dire dans l'histoire, pour voir les divers éléments dont elle résulte, naturellement dissociés. Ils s'offrent alors à l'observateur les uns après les autres, dans l'ordre même où ils se sont formés et combinés ensemble. Rien de plus simple, semble-t-il, que la notion de parenté; l'histoire nous montre qu'elle est d'une extrême complexité : l'idée de consanguinité y entre, mais il y entre bien autre chose, car nous trouvons des types de famille où la consanguinité ne joue qu'un rôle tout à fait accessoire; la parenté maternelle et la parenté paternelle sont des choses qualitativement distinctes, qui sont sous la dépendance de causes tout à fait différentes et qui demandent, par conséquent, à être étudiées séparément, car nous

trouvons dans l'histoire des types de famille où une seulement de ces deux parentés a existé à l'exclusion de l'autre. En un mot, l'histoire joue, dans l'ordre des réalités sociales, un rôle analogue à celui du microscope dans l'ordre des réalités physiques.

De plus, elle seule permet d'expliquer. En effet, expliquer une institution, c'est rendre compte des éléments divers qui servent à la former, c'est montrer leurs causes et leurs raisons d'être. Mais comment découvrir ces causes, sinon en se reportant au moment où elles ont été opérantes, c'est-à-dire où elles ont suscité les faits que l'on cherche à comprendre? Car c'est à ce moment seulement qu'il est possible de saisir la manière dont elles ont agi et engendré leur effet. Or ce moment est derrière nous. Le seul moyen d'arriver à savoir comment chacun de ces éléments est né, c'est de l'observer à l'instant même où il est né et d'assister à sa genèse; or cette genèse a eu lieu dans le passé et, par conséquent, ne peut être connue que par l'histoire. Par exemple, la parenté, aujourd'hui, est double; elle compte aussi bien dans la ligne paternelle que dans la ligne maternelle. Pour savoir les causes déterminantes de cette organisation complexe, on observera d'abord les sociétés où la parenté est essentiellement ou exclusivement utérine [1] et on cherchera ce qui lui a donné naissance; ensuite, on considérera les peuples où la parenté agnatique s'est constituée;

1. On appelle parenté utérine celle qui s'établit exclusivement ou essentiellement par les femmes; parenté agnatique celle qui s'établit essentiellement ou exclusivement par les hommes.

enfin, comme celle-ci, quand elle apparaît, rejette souvent la première au second plan, on interrogera les civilisations où l'une et l'autre ont commencé à être mises sur le même plan, et on tâchera de découvrir les conditions qui ont déterminé cette égalité. C'est ainsi que les questions sociologiques s'échelonnent, pour ainsi dire, aux différentes étapes du passé et c'est à condition de les situer ainsi, de les rapporter aux divers milieux historiques où elles ont pris naissance, qu'il est possible de les résoudre.

La sociologie est donc, en grande partie, une sorte d'histoire entendue d'une certaine manière. L'historien, lui aussi, traite des faits sociaux; mais il les considère surtout par le côté où ils sont particuliers à un peuple et à un temps déterminés. C'est la vie de telle nation, de telle individualité collective, prise à tel moment de son évolution, qu'il se propose généralement d'étudier. Sa tâche immédiate est de retrouver et de caractériser la physionomie propre, individuelle, de chaque société et même de chacune des périodes que comprend la vie d'une même société. Le sociologue, lui, s'attache uniquement à découvrir des rapports généraux, des lois vérifiables dans des sociétés différentes. Il ne cherchera pas spécialement ce qu'a été la vie religieuse ou le droit de propriété en France ou en Angleterre, à Rome ou dans l'Inde, à tel ou tel siècle; mais ces études spéciales, qui lui sont d'ailleurs indispensables, ne sont pour lui que des moyens pour arriver à découvrir quelques-uns des facteurs de la vie religieuse en général. Or nous n'avons qu'une manière de démontrer qu'entre deux faits il existe une relation logique, un rapport de

causalité par exemple, c'est de comparer les cas où ils sont simultanément présents ou absents et de chercher si les variations qu'ils présentent dans ces différentes combinaisons de circonstances témoignent que l'un dépend de l'autre. L'expérimentation n'est au fond qu'une forme de comparaison; elle consiste à faire varier un fait, à le produire sous des formes variées qui sont ensuite méthodiquement comparées. Le sociologue ne pourra donc se tenir à la considération d'un seul peuple et encore moins d'une époque unique; mais il devra comparer des sociétés de même type et aussi de types différents, afin que les variations qu'y présente l'institution, la pratique dont il veut rendre compte, rapprochées des variations que l'on constate parallèlement dans le milieu social, dans l'état des idées, etc., permettent d'apercevoir les relations qui unissent ces deux groupes de faits et d'établir entre eux quelque rapport de causalité. La méthode comparative est donc l'instrument, par excellence, de la méthode sociologique. L'histoire, au sens usuel du mot, est à la sociologie ce que la grammaire latine ou la grammaire grecque ou la grammaire française, prises et traitées séparément les unes des autres, sont à la science nouvelle qui a pris le nom de grammaire comparée [1].

1. Nous n'avons pas à nous expliquer ici sur ce que seront dans l'avenir les rapports de la sociologie et de l'histoire; nous sommes convaincu qu'ils sont destinés à devenir toujours plus intimes et qu'un jour viendra où l'esprit historique et l'esprit sociologique ne différeront plus que par des nuances. En effet, le sociologue ne peut procéder à ses comparaisons et à ses inductions qu'à condition de connaître bien et de près les faits particuliers sur lesquels elles s'appuient, tout comme un historien;

Il y a cependant des cas où la matière des comparaisons sociologiques doit être demandée à une autre discipline que l'histoire. Il arrive que l'on recherche non pas comment une règle juridique ou morale, comment une croyance religieuse s'est formée, mais ce qui fait qu'elle est plus ou moins bien observée par les collectivités qui la pratiquent. Par exemple, au lieu de se demander d'où vient la règle qui prohibe l'homicide, on se donnera comme tâche de découvrir les causes diverses qui font que les peuples, les groupes de toute sorte sont plus ou moins enclins à la violer. De même, on pourra se proposer de trouver quelques-uns des facteurs qui font que les mariages sont plus ou moins fréquents, plus ou moins précoces, plus ou moins facilement dissous par le divorce, etc. Pour résoudre ces sortes de questions, c'est essentiellement à la statistique qu'il faut s'adresser. On cherchera comment la fréquence des homicides, des mariages, des divorces, varie suivant les sociétés, suivant les confessions religieuses, suivant les professions, etc. C'est notamment d'après cette méthode que doivent être traités les problèmes relatifs aux conditions diverses dont dépend la moralité des peuples [1]. C'est à l'aide du même

et, d'un autre côté, la réalité concrète qu'étudie plus immédiatement l'historien peut être éclairée par les résultats des inductions sociologiques. Si donc, dans ce qui précède, nous différencions l'histoire de la sociologie, ce n'est pas pour creuser entre ces deux disciplines un fossé infranchissable, alors qu'elles sont, au contraire, appelées à devenir de plus en plus solidaires; c'est seulement pour caractériser aussi exactement que possible ce qu'a de propre le point de vue sociologique.

1. Il ne faut pas confondre la morale et la moralité. La

procédé que l'on peut, en sociologie économique, étudier en fonction de quelles causes varient les salaires, le taux de la rente, le taux de l'intérêt, la valeur d'échange des monnaies, etc.

Mais, quelle que soit la technique spéciale à laquelle il a recours, il est une règle que le sociologue ne doit jamais perdre de vue : il faut qu'avant de se mettre à l'étude d'une catégorie déterminée de phénomènes sociaux, il commence par faire table rase des notions qu'il a pu s'en former au cours de sa vie; il faut qu'il prenne pour principe qu'il ne sait rien d'eux, de leurs caractères comme des causes dont ils dépendent; il faut, en un mot, qu'il se mette dans l'état d'esprit où sont physiciens, chimistes, physiologistes et même, aujourd'hui, psychologues, quand ils s'engagent dans une région encore inexplorée de leur domaine scientifique.

Malheureusement, cette attitude, si nécessaire qu'elle soit, n'est pas facile à observer vis-à-vis de la réalité sociale : des habitudes invétérées nous en détournent. Parce que nous pratiquons chaque jour les règles de la morale et du droit, parce que nous achetons, que nous vendons, que nous échangeons des valeurs, etc., nous avons forcément quelque idée de ces différentes choses : sans quoi nous ne pourrions nous acquitter de nos tâches quotidiennes. De là une illusion toute naturelle : nous croyons tenir avec ces idées tout l'essentiel des choses auxquelles elles se rapportent. Le moraliste ne se donne pas beaucoup de peine pour expliquer ce que c'est que la

moralité est mesurée par la manière dont la morale est appliquée. On pourrait se poser la même question à propos de la religion.

famille, la parenté, le pouvoir paternel, le contrat, le droit de propriété; l'économiste ne procède pas autrement pour ce qui concerne la valeur, l'échange, la rente, etc. Il semble qu'on en ait la science innée; on se borne à prendre conscience, le plus clairement possible, de l'idée qu'on se fait couramment de ces réalités complexes. Or ces notions, qui se sont formées sans méthode pour répondre à des exigences pratiques, sont dépourvues de toute valeur scientifique; elles n'expriment pas plus exactement les choses sociales que les notions que le vulgaire a des corps et de leurs propriétés, de la lumière, du son, de la chaleur, etc., ne représentent exactement la nature de ces corps et leurs caractères objectifs. Le physicien, le chimiste font abstraction de ces représentations usuelles et la réalité, telle qu'ils nous la font connaître, se trouve être, en fait, singulièrement différente de celle que les sens perçoivent immédiatement. Le sociologue doit faire de même; il doit se mettre en face des faits sociaux en oubliant tout ce qu'il croit en savoir, comme en face de l'inconnu. La sociologie ne doit pas être une simple illustration d'évidences toutes faites et qui sont trompeuses; elle doit être ouvrière de découvertes qui même ne peuvent manquer de déconcerter souvent les notions reçues. Nous ignorons tout de ces choses sociales au milieu desquelles nous nous mouvons; c'est aux différentes sciences sociales qu'il appartient de nous les faire progressivement connaître.

Emile Durkheim,
Professeur à la Sorbonne.

MORALE

« Il est facile, a dit Schopenhauer, de prêcher la morale ; il est difficile de la fonder. » L'histoire des doctrines morales ne lui donne que trop raison. Jusqu'à présent, ni par la méthode *a priori*, ni par la méthode inductive, les philosophes n'ont réussi à fonder la morale d'une façon qui mette fin aux controverses. Chaque système a dû se contenter de triompher de la faiblesse des autres.

Mais peut-être la morale n'a-t-elle pas besoin d'être « fondée » au sens où les philosophes prennent le mot? Peut-être est-ce les termes mêmes en lesquels le problème est posé qui le rendent insoluble ? C'est, en effet, ce que nous voudrions essayer de montrer. Selon nous, il y a lieu d'abandonner l'idée d'une « morale théorique » telle qu'on la conçoit d'habitude. Il convient d'y substituer l'étude positive des faits moraux, considérés comme des phénomènes naturels, plus particulièrement comme des faits sociaux [1].

1. Qu'on nous permette de renvoyer, pour une discussion plus ample, à *la Morale et la science des mœurs* (Paris, F. Alcan), d'où proviennent les pages qui suivent.

I

Sans doute, si l'on considère les faits moraux du dehors, objectivement, et dans leurs rapports avec les autres faits sociaux, ils semblent bien appartenir à la même catégorie qu'eux, et par conséquent être comme eux objets de science. Mais, d'autre part, en tant qu'ils se manifestent subjectivement, dans la conscience, sous la forme de devoirs, de remords, de sentiments de mérite, de démérite, de blâme, d'éloge, etc., ils apparaissent avec de tout autres caractères. Ils semblent alors avoir rapport exclusivement à l'action, et ne relever que des principes de la pratique.

De ces deux conceptions, la première est insolite, la seconde, universellement reçue. Celle-ci n'est pas moins familière aux philosophes qu'au sens commun, et n'a jamais choqué personne. L'autre est propre à la sociologie scientifique, qui pose en principe que les faits moraux sont des faits sociaux, et qui en conclut que la même méthode s'applique aux uns et aux autres. Elle éveille presque toujours un sentiment de défiance instinctive chez ceux qui ne sont point accoutumés à regarder les choses de ce biais.

Ainsi, loin que la distinction entre la théorie et la pratique, en morale, soit nettement établie, on commence à peine à la formuler, et elle devra, pour s'imposer, triompher d'une résistance très vive. Ce fait n'a rien qui doive surprendre. C'est à peine si cette distinction est définitivement acceptée lorsqu'il s'agit des phénomènes biologiques, qui sont donnés dans l'espace, et régis évidemment par des lois indépendantes de notre

volonté ; ne serait-il pas invraisemblable qu'elle fût admise déjà dans le cas des faits moraux, qui ne se révèlent, semble-t-il, qu'à la conscience, et qui paraissent avoir leur origine dans l'activité libre de l'homme ?

Partout ailleurs, nous séparons sans trop de peine, au moins par la pensée, notre science qui s'efforce de connaître les phénomènes naturels, et les procédés de notre art pour les modifier. Nous concevons l'une sans l'autre. Le constructeur de machines se sert de formules que l'analyse pure a établies ; l'anatomiste, le physiologiste ne cherchent qu'à connaître les faits et les lois, laissant à d'autres les applications thérapeutiques possibles. Mais, dès qu'il s'agit de morale, la subordination de la pratique à une théorie distincte d'elle semble s'effacer tout à coup. La pratique n'est plus comprise comme la modification, par l'intervention rationnelle de l'homme, d'une réalité objective donnée. La conscience paraît témoigner qu'elle tient ses principes d'elle-même. Aussi faut-il un long exercice de la réflexion pour s'habituer à concevoir que c'est notre pratique même (c'est-à-dire ce qui nous apparaît subjectivement dans la conscience comme loi obligatoire, sentiment de respect pour cette loi, pour les droits d'autrui, etc.), qui, considérée objectivement, constitue (sous forme de mœurs, coutumes, lois), la réalité à étudier par une méthode scientifique en même temps que le reste des faits sociaux.

Il y a donc, en réalité, deux sens nettement distincts du mot « pratique ». En un premier sens, la « pratique » désigne les règles de la conduite individuelle et collective, le système des devoirs

et des droits, en un mot, les rapports moraux des hommes entre eux. En un second sens, qui n'est plus particulier à la morale, la « pratique » s'oppose d'une manière générale à la théorie. Par exemple, la physique pure est une recherche théorique, et la physique appliquée se rapporte à la pratique. Ce second sens peut et doit s'étendre aux faits moraux. Il suffit que l'ensemble de ces faits, à savoir, la « pratique », au premier sens du mot, devienne lui-même l'objet d'une étude vraiment spéculative, c'est-à-dire désintéressée et toute théorique. Et lorsque cette « pratique » sera suffisamment connue, c'est-à-dire lorsqu'on sera en possession d'un certain nombre de lois régissant ces faits, on pourra espérer la modifier, par une application rationnelle du savoir scientifique. Alors, mais alors seulement, les rapports de la théorie et de la pratique, en morale, seront normalement organisés.

Mais, pourra-t-on dire, la distinction de la morale théorique et de la morale pratique n'exige pas tant d'efforts. N'est-elle pas d'usage courant, et d'une clarté parfaite ? La première fonde spéculativement les principes de la conduite ; la seconde tire les applications de ces principes. La pratique est donc ici, comme partout, réglée par la connaissance théorique, préalablement établie. Les considérations invoquées tout à l'heure ne peuvent rien contre ce fait. Loin que la distinction entre la théorie et la pratique soit particulièrement difficile et à peine ébauchée en morale, nulle part elle n'est plus nette, ni plus familière aux esprits cultivés.

— La distinction est courante en effet ; mais est-il certain qu'elle soit fondée ? De quelle nature

est la « théorie », dans les morales théoriques ? Quel genre de questions se proposent-elles de résoudre ? Qu'elles soient intuitives et procèdent *a priori*, ou qu'elles soient inductives et emploient une méthode empirique, elles ne traitent que des problèmes ayant directement rapport à l'action : déterminer par exemple, quelles fins l'homme doit poursuivre ; trouver l'ordre dans lequel ces fins se subordonnent les unes aux autres, et s'il en est une suprême ; établir une échelle des biens ; fixer les principes directeurs des relations des hommes entre eux. Il s'agit toujours d'obtenir un ordre de préférence, et de fonder, selon l'expression favorite de Lotze, des *jugements de valeur*.

Est-ce bien là l'office de la science, de la recherche proprement théorique ? La science, par définition, n'a d'autre fonction que de connaître ce qui est. Elle n'est et ne peut être que le résultat de l'application méthodique de l'esprit humain à une portion ou à un aspect de la réalité donnée. Elle tend, et elle aboutit, à la découverte des lois qui régissent les phénomènes. Telles sont les mathématiques, l'astronomie, la physique, la biologie, la philologie, etc. La morale théorique se propose un objet essentiellement différent. Elle est, par essence, législatrice. Elle n'a pas pour fonction de connaître, mais de prescrire. Du moins, connaître et prescrire pour elle ne font qu'un. Son but est de ramener à un principe unique, s'il est possible, les règles directrices de l'action. Sans doute, une systématisation de ce genre peut encore s'appeler, si l'on veut, une « théorie ». Mais c'est à la condition de prendre ce mot dans le sens étroit et spécial où il désigne la formulation abstraite des règles d'un art : — théorie de

la construction navale, théorie de l'utilisation des chutes d'eau, — et non plus dans le sens plein où théorie signifie étude spéculative d'un objet proposé à l'investigation scientifique et désintéressée. Les morales théoriques ne répondent pas à cette dernière définition. Elles se défendraient même d'y répondre.

Aussi quelques philosophes, et en particulier M. Wundt, ont-ils proposé de mettre la morale au nombre des « sciences normatives ». Mais la question est de savoir si ces deux termes sont compatibles entre eux, et s'il existe réellement des sciences normatives. Toute norme est relative à l'action, c'est-à-dire à la pratique. Elle ne relève du savoir que d'une façon indirecte, à titre de conséquence. Empirique, elle procède de traditions, de croyances et de représentations dont le rapport avec la réalité objective peut être plus ou moins lointain. Rationnelle, elle se fonde sur la connaissance exacte de cette réalité, c'est-à-dire sur la science : mais il ne suit pas de là que cette science, considérée en elle-même, soit « normative ».

La science fournit simplement une base solide aux applications. Autrement, il faudrait admettre que toutes les sciences qui donnent lieu à des applications sont normatives, à commencer par les mathématiques. Mais celles-ci sont justement le type de la science spéculative et théorique par excellence.

Prétendre qu'une science est normative en tant que science, c'est-à-dire en tant que théorique, c'est confondre en un seul deux moments qui ne peuvent être que successifs. Toutes les sciences actuellement existantes sont théoriques *d'abord:*

elles deviennent normatives ensuite, si leur objet le comporte, ou si elles sont assez avancées pour permettre des applications.

Il peut arriver, sans doute, que la distinction du point de vue spéculatif et du point de vue de l'application soit lente à s'établir, surtout quand l'intérêt impérieux de la pratique ne souffre pas que les règles dont l'usage paraît indispensable soient séparées de l'ensemble des connaissances, plus ou moins scientifiques, acquises jusqu'à ce moment. Le savoir peut paraître alors ne pas se distinguer de la règle d'action. En ce sens la médecine a été une sorte de science normative jusqu'à une époque assez récente.

Mais ce n'est pas ainsi que l'on représente la morale. Celle-ci serait une science normative précisément par sa partie théorique, serait « législatrice en tant que science ». Or, c'est là confondre l'effort pour connaître avec l'effort pour régler l'action : c'est une prétention irréalisable. En fait, les systèmes de morale théorique ne la réalisent point. Jamais, à aucun moment, ils ne sont proprement spéculatifs. Jamais ils ne perdent de vue l'intérêt pratique pour rechercher, d'une façon désintéressée, les lois d'une réalité (empirique ou intelligible) prise pour objet de connaissance. Bref, une morale, même quand elle veut être théorique, est toujours normative ; et, précisément parce qu'elle est toujours normative, elle n'est jamais vraiment théorique.

Ainsi, la morale théorique et la morale pratique ne diffèrent pas entre elles comme les mathématiques pures, par exemple, et les mathématiques appliquées. En réalité, toutes deux, morale théorique et morale pratique, ont pour objet de

régler l'action. Seulement, tandis que la morale pratique descend dans le détail concret des devoirs particuliers, la morale théorique cherche à s'élever à la formule la plus haute de l'obligation, du bien et de la justice. Elle présente un degré supérieur d'abstraction, de généralité et de systématisation.

En outre, les morales pratiques sont, en général, homogènes ; les morales théoriques ne le sont pas. Les premières se bornent exclusivement à l'examen des questions concrètes de morale ; et, si le nombre de ces questions est illimité, elles n'en sont pas moins toutes situées dans un même champ bien défini. Dans les morales théoriques, au contraire, se rencontrent presque toujours des éléments de provenance diverse, et plus ou moins amalgamés avec ce qui est proprement moral. Tantôt ce sont des croyances religieuses, ou des considérations métaphysiques sur l'origine et la destinée de l'homme, et sur sa place dans l'univers ; tantôt des recherches psychologiques sur la nature et la force relative des inclinations naturelles ; tantôt des conceptions et des analyses juridiques touchant les droits relatifs aux personnes et aux choses. Ces éléments prêtent une apparence théorique aux spéculations philosophiques sur la morale. Mais ce n'est qu'une apparence. En fait, ces considérations de nature théorique ne fondent pas réellement les règles d'action auxquelles elles se trouvent jointes. Il n'y a pas là un rapport de principe à conséquence, mais un genre de relation très complexe, très obscur, et qui ne peut le plus souvent être éclairci sans le secours de l'analyse sociologique. Mais il reste vrai que le mélange de propositions de caractère

spéculatif avec des préceptes généraux de morale qui paraissent y être étroitement liés, ou même en être déduits, ne contribue pas peu à entretenir l'illusion qui fait prendre la morale pour une science « à la fois théorique et normative ».

Il n'y a donc pas de science théorique de la morale, au sens traditionnel du mot, et il ne saurait y en avoir, puisqu'une science ne peut être normative en tant que théorique. Est-ce à dire qu'une recherche scientifique touchant la morale ne soit pas possible ? Au contraire, la distinction rationnelle du point de vue théorique et du point de vue pratique nous permettra de définir l'objet de cette recherche. Tandis que la conception confuse d'une « morale théorique » est destinée à disparaître, une autre conception, claire et positive, commence à se former. Elle consiste à considérer les règles morales, obligations, droits, et en général le contenu de la conscience morale, comme une réalité donnée, comme un ensemble de faits, en un mot, comme un objet de science, qu'il faut étudier dans le même esprit et par la même méthode que le reste des faits sociaux.

II

La conception nouvelle des rapports de la pratique et de la théorie en morale implique qu'il y a une réalité sociale objective, comme il y a une réalité physique objective, et que l'homme, s'il est raisonnable, doit se comporter à l'égard de la première comme à l'égard de l'autre, c'est-à-dire s'efforcer d'en connaître les lois pour s'en rendre maître autant qu'il lui sera possible.

Mais l'étude objective et scientifique de la

« nature sociale », semblable à l'étude objective et scientifique de la « nature physique », paraît une conception paradoxale. L'assimilation de ces deux « natures » l'une à l'autre semble forcée et fausse. Elle choque la représentation traditionnelle, et encore universellement acceptée, qui place l'homme au point de contact de deux mondes distincts et hétérogènes : l'un physique, où les phénomènes sont régis par des lois constantes, l'autre moral, qui lui est révélé par la conscience. De ces deux mondes, le premier seul, croit-on, peut être conquis par la science positive. Le second lui échappe, et ne prête qu'à des spéculations d'un ordre différent. Au premier seulement convient le nom de « nature ».

— Cette distinction est liée par notre métaphysique à l'immortalité de l'âme et au libre arbitre de l'homme, croyances qui sont d'un intérêt capital dans notre civilisation. Elle est donc défendue, comme ces croyances, avec une ténacité passionnée. Mais, d'un point de vue purement rationnel, et tout sentiment mis à part, elle se justifie mal. Si par « nature » on n'entend pas la totalité de la réalité donnée, si l'on restreint la signification de ce terme à la partie de cette réalité que nous concevons comme soumise à des lois constantes, il y a quelque témérité à prétendre fixer le point où cette « nature » finit. Car la limite s'en est plusieurs fois déplacée. Ce que l'on appelle « nature » s'est constitué peu à peu pour notre entendement. Il n'est pas impossible de retrouver les phases successives que cette nature a traversées pour s'étendre. M. Lasswitz, dans sa belle *Histoire de l'Atomisme*, a mis en pleine lumière quelques moments de cette évolution.

Il montre comment des parties de la réalité extérieure, dont l'homme a toujours eu connaissance par la sensation, n'ont été incorporées à la nature (au sens strict du mot), que depuis le jour où les phénomènes sont représentés d'une façon proprement intellectuelle, objective, c'est-à-dire conçus comme soumis à des lois. Par exemple, les anciens avaient comme nous la perception sensible de la lumière et des couleurs. Pourtant, lumière et couleurs ne sont réellement entrées dans notre *conception de la nature* qu'après l'analyse du spectre et les découvertes ultérieures de l'optique. Car, alors seulement, nous avons eu de ces phénomènes une représentation objective, conceptuelle, et faisant corps pour notre entendement avec le reste des lois de la nature.

Ce que Newton a découvert pour la lumière et les couleurs, les Grecs l'avaient déjà trouvé pour les sons. Un physicien de génie le fera peut-être quelque jour pour les odeurs. Ce jour-là, la somme des perceptions possibles pour nos sens n'aura pas varié, et néanmoins, du seul fait de l'objectivation de perceptions qui auparavant étaient purement sensibles, quelque chose sera changé dans la *conception* de la nature. L'exemple de l'optique montre quelle vaste étendue de découvertes peut s'ouvrir, une fois l'objectivation commencée, découvertes dont on ne pouvait jusque-là avoir même le pressentiment, et qui enrichissent singulièrement notre idée de la nature, (double réfraction, diffraction, polarisation, analyse spectrale, rayons infra-rouges et ultra-violets, action chimique de la lumière, rayons X, théorie électro-magnétique de la lumière, etc.).

D'une façon générale, notre conception de la

nature s'agrandit et s'enrichit chaque fois qu'une portion de la réalité qui nous est donnée dans l'expérience se « désubjective » pour s'objectiver. Cette conception n'est donc pas toujours semblable à elle-même, ni de contenu constant. Au contraire, elle n'a guère cessé de varier depuis l'époque très reculée où elle est née. Car elle a dû naître. Il a existé un temps où aucune séquence presque de phénomènes n'apparaissait comme infailliblement régulière : les esprits et les dieux pouvaient, par leur action arbitraire, à peu près tout produire et tout empêcher. A ce moment, le domaine de la nature, si tant est que la nature soit conçue, même d'une façon vague, est presque infiniment petit. Il est alors *minimum*. Peu à peu il s'est formé, il s'est accru, et il comprend aujourd'hui la plus grande partie de ce qui nous est donné dans l'espace. Mais de quel droit, au nom de quel principe, fixerions-nous dès à présent le *maximum* qu'il ne dépassera pas ? Pourquoi exclurions-nous *a priori* de la nature ainsi conçue telle portion du réel, les phénomènes sociaux par exemple ? Parce que nous n'éprouvons pas aujourd'hui le besoin de les y faire entrer, parce qu'un sentiment spontané s'y oppose ? Pauvres raisons : car, sans critiquer le rôle que l'on fait jouer ici au sentiment, nous voyons, par l'histoire des sciences, que l'esprit humain se trouve toujours satisfait de la conception intellectuelle du monde, quelle qu'elle soit, qui lui est transmise. Il suit la ligne de moindre effort, et il tend à conserver tel quel l'héritage intellectuel qu'il a reçu. Loin de désirer ou de réclamer un enrichissement pour la conception traditionnelle de la nature, il n'accepte presque jamais sans

résistance celui qu'on lui offre, et seulement après un temps plus ou moins long.

Rien ne s'oppose donc, *a priori*, à ce que le processus d'objectivation se poursuive, à ce que de nouvelles portions de la réalité donnée entrent dans la représentation intellectuelle de la nature, et soient désormais conçues comme régies par des lois constantes. C'est une conquête de ce genre que la sociologie scientifique réalise. La résistance qu'elle rencontre est un fait normal, et qui pouvait être prévu. La distinction rigide entre le monde de la « nature physique » et le monde moral n'est qu'un aspect de cette résistance.

De même que nous avons de presque toute la réalité donnée dans l'espace deux représentations parfaitement distinctes, l'une sensible et subjective, l'autre conceptuelle et objective ; de même que le monde des sons et des couleurs est aussi l'objet de la science physique ; de même enfin que nous sommes accoutumés à nous représenter objectivement comme des ondes de l'éther ce que nous éprouvons subjectivement comme chaleur et comme lumière, sans que l'une de ces représentations exclue l'autre ni même s'y oppose ; de même, nous pouvons posséder en même temps deux représentations de la réalité morale, l'une subjective, l'autre objective. Nous pouvons d'une part, subir l'action de la réalité sociale où nous sommes plongés, la sentir se réaliser dans notre propre conscience, et de l'autre, saisir dans cette réalité objectivement conçue les relations constantes qui en sont les lois. La coexistence en nous de ces deux représentations nous deviendra familière. Elle ne soulèvera pas plus de difficultés

que lorsqu'il s'agit du monde extérieur. Les progrès de l'acoustique ont-ils rien enlevé à la puissance émotionnelle des sons, et quand Helmholtz a eu découvert la théorie physique du timbre, les richesses de l'orchestration d'un Beethoven ou d'un Wagner ont-elles cessé de faire les délices de nos oreilles ? Nous ne sommes pas moins sensibles à la délicatesse et à l'éclat des couleurs, depuis que l'optique sait les décomposer. Pareillement, quand la science des faits moraux nous en aura donné une représentation objective, quand elle les aura incorporés à la « nature », la vie intérieure de la conscience morale n'aura rien perdu de son intensité, ni de son irréductible originalité.

Une différence cependant subsiste. La nature physique s'impose pour ainsi dire du dehors à l'homme, toujours semblable à elle-même, et indifférente à sa présence. Les phénomènes se produisent conformément aux lois à l'intérieur de la terre, qui nous est inaccessible, comme à sa surface. Mais les mœurs, les langues, les religions, les arts, en un mot les institutions sont l'œuvre de l'homme, le produit et le témoignage de son activité, transmis de génération en génération, bref, la matière même de son histoire. Ils sont autres là où cette histoire est autre. Comment concilier cette diversité selon les temps et les lieux avec le caractère essentiel de la nature, qui consiste en une constante et parfaite uniformité ?

Cette difficulté ne fait qu'exprimer sous une forme nouvelle l'objection que nous avons examinée plus haut. Elle revient à douter *a priori* que des phénomènes donnés, dans une appréhension primitive, comme infiniment divers, et

comme incommensurables les uns avec les autres, puissent jamais faire l'objet d'une représentation intellectuelle et d'une science proprement dite. Il est vrai qu'ils ne le peuvent pas, *dans cet état*. Mais il suffit, pour qu'ils le puissent, qu'ils aient subi une élaboration permettant de les *concevoir* comme objectifs, et d'en découvrir les lois constantes. Ceci n'est pas une hypothèse : non seulement la mécanique, la physique et les autres sciences de la nature physique se sont constituées ainsi, mais on en peut dire autant de la linguistique, de la science des religions, et d'autres sciences du même genre. Il reste que, pour la plupart des catégories de faits sociaux, les moyens actuels d'objectivation sont encore très insuffisants, ou même font défaut. Mais, si l'on veut dire seulement que la sociologie en est encore à la période de formation, personne ne le conteste, excepté ceux qui tendent à prouver, par leurs ouvrages, qu'elle n'est pas une science. Le point capital est que la réalité morale soit désormais incorporée à la nature, c'est-à-dire que les faits moraux soient rangés parmi les faits sociaux, et que les faits sociaux en général soient conçus comme un objet de recherche scientifique, au même titre et par la même méthode que les autres phénomènes naturels.

De cette façon, les rapports de la théorie et de la pratique en morale redeviennent normaux et intelligibles. Dans ce cas, comme dans les autres, la pratique rationnelle, qui doit venir tôt ou tard modifier la pratique spontanée issue des besoins immédiats de l'action, dépend désormais du progrès que fera la connaissance scientifique

de la nature. Nous sortons de la confusion inextricable où nous entraînait l'idée d'une « science de la morale », d'une « morale pure », d'une « morale théorique », qui devait être tout ensemble normative et spéculative, sans pouvoir satisfaire à la fois à ces deux exigences. L'une se sépare de l'autre, conformément à la nature des choses. Désormais l'effort spéculatif ne consiste plus à déterminer « ce qui doit être », c'est-à-dire, en réalité, à prescrire. Il porte, comme en toute science, sur une réalité objective donnée, c'est-à-dire sur les faits moraux et sur les autres faits sociaux inséparables de ceux-ci. Comme en toute science encore, il n'a d'autre fin directe et immédiate que l'acquisition du savoir. Parvenu à un certain degré de développement, ce savoir permettra d'agir, d'une façon méthodique et rationnelle, sur les phénomènes dont il aura découvert les lois.

Ainsi la prétendue « morale théorique » disparaît. La « morale pratique » subsiste en fait. Elle devient l'objet de l'investigation scientifique, qui, sous le nom de sociologie, entreprend l'étude théorique de la réalité morale. Et cette étude théorique prêtera plus tard à des applications, c'est-à-dire à des modifications de la pratique existante. Transformation des « sciences morales » grosse de conséquences, dans le domaine de la pensée comme dans le domaine de l'action, et dont nous ne pouvons apercevoir encore que la période préliminaire.

III

Mais, pourra-t-on demander, pourquoi les rapports normaux de la théorie et de la pratique

ne se sont-ils pas, jusqu'à présent, établis en morale comme ailleurs? Les autres portions de la réalité donnée dans l'expérience sont devenues peu à peu des objets de recherche scientifique; s'il y a une réalité morale objective, comment n'a-t-elle fourni matière qu'à des « morales théoriques »? Ne serait-ce pas qu'en effet, comme le soutiennent les auteurs de ces morales, à un objet différent convient une forme de spéculation différente?

Pour rendre raison de ce fait, il suffira sans doute d'appeler l'attention sur certains caractères qui sont propres à la « réalité morale ». Des intérêts sociaux très puissants, des sentiments très énergiques s'opposent pour ainsi dire *a priori* à ce que les choses morales fassent l'objet d'une étude objective et désintéressée. Il n'en est pas de la morale comme de la cristallographie ou de la mécanique. L'attitude scientifique est, par définition, une attitude critique. Comment prendre cette attitude à l'égard de règles dont le caractère obligatoire imprime le respect à toutes les consciences? De même que l'attitude critique, dans la science des religions, a dû paraître irréligieuse, bien qu'elle ne le soit pas nécessairement, de même, dans une science de la réalité morale, elle prend presque à coup sûr un air d'immoralité. Elle semble, à tort, inséparable d'une sorte de scepticisme, que la conscience commune condamne, soit comme un manque de sens moral (correspondant à l'indifférence en matière de religion), soit comme un principe d'anarchie qui mettrait en question toutes les institutions sociales, c'est-à-dire l'existence même de la société. Tout effort pour considérer la réalité morale en

faisant abstraction du respect que la conscience exige pour ses impératifs, provoque donc aussitôt une réaction extrêmement vive. En un mot, si la première condition d'une étude scientifique est de « désubjectiver » les faits, de négliger l'aspect par où ils touchent notre sensibilité, et de les traduire en une forme qui puisse être élaborée par l'entendement, les faits moraux ne devaient pas devenir aisément objet de science, et il n'est pas surprenant que les difficultés préliminaires n'aient pas été toutes surmontées jusqu'à présent.

En outre, l'état actuel de la spéculation morale n'est pas aussi exceptionnel qu'il semble d'abord. A une époque plus ou moins reculée, les autres sciences de la nature l'ont également traversé. Je ne parle pas seulement des étapes successives qui ont conduit ces sciences à considérer enfin leur objet d'un point de vue désintéressé : je parle de la structure même de la science, de sa méthode, et de la façon de poser les problèmes. Nous n'avons pas encore de « physique des mœurs », qui s'attache à observer et à classer les faits moraux, dans leur diversité réelle et concrète, selon les temps et les lieux, et à les analyser pour en dégager les lois, au moyen de la méthode comparative ; nous en sommes encore à la « morale théorique » qui spécule abstraitement sur les idées de bien, de mal, de mérite, de sanction, de responsabilité, de justice, de propriété, de solidarité, de devoir, et de droit. — Il est vrai : mais y a-t-il si longtemps que les sciences aujourd'hui les plus sûres de leur méthode, la physique par exemple, spéculaient non moins abstraitement sur les éléments et sur le vide ? Dans l'antiquité

classique, dont nous sommes restés, à plusieurs égards, beaucoup plus près que nous ne pensons, la « science physique » offrait des caractères remarquablement semblables à ceux que présente aujourd'hui la « science de la morale ».

L'analogie devient frappante si l'on remonte assez haut, jusqu'aux φυσικοί qui ont précédé Socrate. Leur tendance à expliquer l'ensemble des phénomènes par un ou plusieurs éléments fondamentaux, leur manière de rendre compte des faits en rapprochant ou en séparant le sec et l'humide, le froid et le chaud, ou les atomes, se retrouve dans l'effort de nos philosophes pour expliquer toute la réalité morale par un ou plusieurs éléments fondamentaux (le plaisir, l'intérêt, le devoir), et dans leur façon de séparer ou de rapprocher l'utile et le bien, l'agréable et l'obligatoire. Même facilité apparente, des deux parts, pour la construction rapide d'un édifice scientifique achevé ; même réapparition constante de systèmes opposés les uns aux autres, dont aucun n'a jamais assez de force pour triompher de ses adversaires, enfin même impuissance de tous à rendre compte, ne fût-ce qu'imparfaitement, de la complexité réelle des faits. Et comme les anciens, par cette méthode, n'ont jamais pu bâtir que des physiques plus ou moins vraisemblables, qui d'ailleurs n'étaient point vraies ; pareillement, la spéculation morale des philosophes n'a jamais produit que des « morales théoriques » plus ou moins acceptables pour la conscience de leur temps, mais dépourvues de valeur scientifique.

Le débat entre utilitaires, hédonistes, eudémonistes, kantiens, et autres théoriciens de la mo-

rale, à le considérer du point de vue formel, correspond donc assez exactement au débat entre les partisans d'Héraclite, d'Anaxagore, d'Empédocle, de Démocrite, de Parménide sur les principes de la physique. Dans les doctrines de ces philosophes, la connaissance positive de quelques faits se trouvait mêlée à des conceptions métaphysiques, et la séparation de ces deux catégories d'éléments ne s'est accomplie que peu à peu. De même, dans nos systèmes de morale théorique se trouvent confondues des observations de faits et des conceptions métaphysiques, que l'on pourrait plus précisément appeler *métamorales,* si le mot n'est pas trop barbare : j'entends par là tout ce qui est supposé transcendant par rapport à la réalité morale donnée, et nécessaire à l'intelligence de cette réalité. Nous ne tolérons plus de telles confusions dans la physique ; mais, dans nos « morales théoriques » elles ne nous choquent pas encore. La forme que la spéculation morale a conservée jusqu'à présent est, il est vrai, très propre à les entretenir.

Cette spéculation porte encore l'empreinte très reconnaissable du génie grec, d'où elle est issue, comme presque toutes nos sciences. Ce génie a conçu l'intelligibilité de l'univers sous la forme de l'harmonie des idées, et il s'est représenté l'ordre des êtres dans la nature par le moyen de la hiérarchie des genres et des espèces. Par suite, pour construire la science, où il voyait une expression de la réalité même de l'être, il a procédé par la détermination de concepts. C'est donc à cette méthode qu'il a demandé aussi l'intelligibilité des choses morales. M. Boutroux appelle Socrate le fondateur de la science morale. M. Zeller voit en

ce même Socrate le fondateur de la philosophie du concept. Les deux noms lui conviennent également ; car ils expriment, au fond, la même idée. D'une part, la « science morale » que Socrate a voulu fonder consiste en une détermination des concepts moraux ; et d'autre part la « philosophie du concept », dont M. Zeller lui attribue la découverte, n'a guère été appliquée par lui qu'à des questions concernant la morale.

Cette philosophie du concept est devenue chez Platon la dialectique, et, chez Aristote, la construction métaphysique et scientifique que l'on sait, où la méthode est demeurée essentiellement dialectique. Malgré le goût d'Aristote lui-même et de beaucoup de savants anciens pour les recherches expérimentales, cette méthode a toujours empêché que leur physique ne fît le pas décisif qui l'aurait rendue positive. Il fallait, pour en arriver là, que le contenu et l'usage des concepts antiques de « nature », de « mouvement », d'« élément », se fussent profondément modifiés. Plus précisément, il fallut que les physiciens modernes, laissant de côté les concepts généraux plus métaphysiques que physiques, apprissent à ne considérer que les faits et les relations données par l'expérience entre les faits. Révolution qui n'alla point sans des luttes opiniâtres, et qui ne fut achevée qu'avec le XVIe siècle.

Combien la méthode dialectique ne devait-elle pas se maintenir plus longtemps encore en morale ! Dans les sciences qui étudient la réalité physique, dès que la méthode inductive et expérimentale eut commencé à établir des lois proprement dites (ce qui ne fut guère possible, il est vrai, qu'après certaines découvertes en mathé-

matiques et en mécanique), la fin de la spéculation dialectique ne fut plus qu'une question de temps. La valeur des résultats obtenus finit par triompher des préventions les plus obstinées. Entre deux méthodes, l'une fertile seulement en disputes, l'autre féconde en découvertes dont les applications vont à l'infini, le choix, à la longue, ne peut rester douteux. Mais les sciences qui ont pour objet la réalité morale n'en sont pas encore à ce point. Le prestige de la spéculation traditionnelle sur les concepts n'y est pas encore contre-balancé par l'importance des résultats positifs dus à une méthode objective d'investigation.

Ces résultats n'apparaîtront sans doute que lentement. L'ancienne méthode a l'assentiment secret des consciences, l'appui des croyances religieuses et des forces de conservation sociale. En un mot, elle ne perdra son autorité que très difficilement. La critique des concepts moraux a beau montrer que leur simplicité apparente est illusoire, et qu'en réalité ils sont à la fois extraordinairement complexes, flottants, et mal définis : idées claires, si l'on veut, mais non pas idées distinctes. Cette critique, telle que l'a exécutée M. Simmel, par exemple, dans son *Introduction à la science morale*, n'est pas décisive, malgré l'ingéniosité et le talent de son auteur, parce qu'elle est elle-même dialectique. Tant que le sentiment de la vérité positive, dans cet ordre de recherches, ne sera pas devenu familier aux esprits comme il l'est depuis longtemps dans l'ordre des recherches physiques, il est à craindre que la spéculation morale ne persiste à travailler dialectiquement sur des concepts.

Du moins, sans rien préjuger de l'avenir,

voyons-nous que cette forme de la spéculation morale n'est pas une anomalie. L'esprit humain n'a pas commencé par prendre, à l'égard de la réalité morale, une attitude différente de celle qu'il avait eue d'abord à l'égard de la réalité physique. Ce qui est vrai, au contraire, c'est qu'il a conservé, pour l'étude des choses morales, une méthode dont il s'est défait ailleurs depuis quelque temps : persistance qui s'explique assez par les caractères propres à cette partie de la réalité, et par les sentiments qu'elle éveille en nous.

Si l'on entend les rapports de la théorie et de la pratique, en morale, de la façon qui vient d'être exposée, une difficulté grave semble s'élever. La pratique rationnelle dépend de l'état d'avancement des sciences sociales. Ces sciences, de l'aveu des juges même les plus indulgents, sont encore rudimentaires. Jusqu'à ce que la « nature sociale » nous soit aussi bien connue que la « nature physique », jusqu'à ce que nous puissions nous fonder, pour agir, sur la science positive de ses lois, des siècles s'écouleront peut-être, dont nous ne prévoyons pas le nombre. En attendant, il faut agir. La vie sociale nous pose à chaque instant des problèmes pratiques qu'il faut résoudre. Refuser de répondre, dans la plupart des cas, c'est encore une façon de répondre. L'abstention entraîne la même responsabilité que l'action. Comment concilier la réserve que notre ignorance actuelle nous imposerait, avec la nécessité immédiate où nous sommes de prendre un parti ? Est-il possible que nous restions, même provisoirement, sans règles directrices de conduite ?

Cette hypothèse, que l'on hésite à mettre en discussion, n'a pourtant rien d'absurde en soi. On la repousse d'instinct, car la conscience semble attester que tous, savants et ignorants, nous trouvons dans les impératifs du devoir une direction suffisante. Et, en outre, par une sorte d'optimisme spontané, nous ne concevons pas que quelque chose puisse à la fois nous être indispensable et nous faire défaut. Cependant il arrive — et force nous est de le reconnaître — que nous soyons hors d'état, pour longtemps peut-être, de donner une solution rationnelle à des problèmes fort importants pour nous. Témoin les maladies, si nombreuses encore, où le médecin, sachant son impuissance, s'abstient d'intervenir, excepté pour soulager les souffrances du patient qu'il ne peut pas guérir. L'homme-médecine des sauvages, et même le médecin d'il y a quelques siècles, ne doutaient jamais de l'efficacité de leurs remèdes. Le progrès du savoir a rendu les nôtres plus réservés et plus circonspects. Ne peut-il en être de même en matière morale et sociale ? Avant la recherche scientifique des lois, toute question pratique se rapportant à la morale paraît avoir une solution immédiate, définitive, et le plus souvent obligatoire. Avec le progrès de la science, une période commence où les plus éclairés ne feront pas difficulté d'avouer que la solution rationnelle d'un grand nombre de problèmes leur échappe. Tel est déjà l'état d'esprit de plus d'un savant en présence de beaucoup de problèmes sociaux proprement dits.

Mais comment suspendre ainsi son jugement, lorsqu'il s'agit, non plus de problèmes généraux,

dont on admet bien que la solution dépend du savoir, mais de résolutions que la vie nous oblige de prendre sur l'heure, nous mettant en demeure, par exemple, de répondre par oui ou par non à une question urgente? On conçoit le silence de la science ; on ne conçoit pas le silence, même provisoire, de la morale.

Cette difficulté n'est pas aussi inextricable qu'elle le semble d'abord, et qu'elle le serait en effet, s'il fallait accepter les termes où elle est posée. Elle provient, pour une grande part, d'une confusion d'idées. Le mot « morale » est pris par l'usage courant en des sens très distincts. Tantôt il désigne la *réalité* morale existante, c'est-à-dire l'ensemble des devoirs, droits, sentiments, croyances, qui constituent à un moment donné le contenu de la conscience morale commune ; tantôt on appelle de ce nom la *pratique* morale, en tant qu'art rationnel fondé sur la science et intervenant dans les phénomènes moraux ou sociaux pour les modifier. Or, l'aveu de notre ignorance peut bien, dans un très grand nombre de cas, suspendre cette intervention ; mais que nous l'ignorions ou non, la réalité sociale a son existence propre, objective, et demeure ce qu'elle est. Notre science et notre ignorance ne sont, à son égard, que des « dénominations extrinsèques », exactement comme à l'égard de la « nature physique », dont les lois, quand elles sont ignorées de nous, ne se font pas moins sentir que lorsqu'elles nous sont connues.

Bref, la morale, — si l'on entend par là l'en-

1. Voyez plus haut, ch. IV, § II, p. 100.

semble des devoirs qui s'imposent à la conscience — ne dépend nullement, pour exister, de principes spéculatifs qui la fonderaient, ni de la science que nous pouvons avoir de cet ensemble. Elle existe *vi propria*, à titre de réalité sociale, et elle s'impose au sujet individuel avec la même objectivité que le reste du réel. Les philosophes se sont imaginé parfois que c'étaient eux qui fondaient la morale : pure illusion, inoffensive d'ailleurs, et dont il leur a fallu revenir. Hegel, au commencement de sa *Doctrine du Droit*, raille les théoriciens de l'État qui se donnent pour tâche de construire l'État tel qu'il doit être. Il leur explique que l'État existe, que c'est une réalité *donnée*, et qu'ils auront déjà fort à faire pour le comprendre tel qu'il est. Il leur propose l'exemple du physicien, qui n'a jamais eu l'idée de rechercher quelles devraient être les lois de la nature, mais qui se demande tout uniment quelles elles sont. Cette réflexion ne s'applique pas moins bien à la morale. On ne « fait » pas la morale d'un peuple ou d'une civilisation, pour cette raison qu'elle est déjà toute faite. Elle n'a pas attendu, pour exister, que des philosophes l'eussent construite ou déduite. Mais, de même que les lois, une fois découvertes, nous procurent le moyen d'intervenir rationnellement, et à coup sûr, dans les séries de phénomènes physiques, en vue de certaines fins que nous désirons atteindre; de même, la connaissance des lois sociologiques nous conduirait à un art moral rationnel, qui nous permettrait d'améliorer, jusqu'à un certain point, la réalité sociale où nous vivons.

La célèbre formule cartésienne, qui assimile

la morale à la mécanique et à la médecine, implique que toutes trois sont conçues comme des arts rationnels, se proposant, sous la direction de la science, de modifier une réalité donnée. En ce qui concerne la mécanique et la médecine, aucune confusion n'est à craindre, ni de mots, ni d'idées. Il est trop clair que la réalité où elles interviennent a son existence propre, et qu'elle fait l'objet d'un vaste ensemble de sciences (mathématiques, physique, chimie et biologie). Mais, si la morale correspond exactement, comme art rationnel, à la mécanique et à la médecine, il faut avouer qu'elle opère, elle aussi, sur une réalité donnée, qui ne dépend point d'elle pour exister.

Si donc l'art moral rationnel doit reconnaître que, dans un grand nombre de cas, il est aujourd'hui hors d'état de résoudre les problèmes qui se présentent, c'est-à-dire de savoir comment et par quels moyens modifier la réalité donnée, même quand nous aurions un intérêt pressant à le faire, cet aveu n'a rien de particulièrement alarmant. Il ne signifie pas que nous nous trouvions sans morale, au sens courant du mot, c'est-à-dire sans règles de conduite, sans direction, incapables d'agir et comme paralysés. Au contraire, en l'absence de cet art rationnel, les règles d'action traditionnelles pèsent de toutes leurs forces sur les consciences, et si elles n'obtiennent pas d'être obéies, c'est pour des raisons où notre ignorance n'a point de part.

IV

Mais, dira-t-on, qu'importe que, dans la con-

ception d'une « nature sociale », analogue à la « nature physique », l'autorité des règles morales subsiste *en fait*, si *en droit* elle disparaît ? Nous avouerons que notre conscience individuelle continue à se conformer à la conscience morale commune de notre temps, et que la pression sociale produit les mêmes effets qu'auparavant. Mais nous saurons que nous y sommes soumis, bon gré mal gré, presque comme à la loi physique de la pesanteur. Qu'y a-t-il de commun entre le fait de subir une nécessité naturelle qu'on ne peut éviter, et le dévouement d'une activité, maîtresse de soi, à un idéal de justice et de bonté ? La morale perd jusqu'à son nom, si elle n'a pas sa réalité propre, si elle se confond avec la « nature ».

Que le devoir se présente à la conscience avec un caractère sacré, qu'il lui imprime un respect religieux, c'est un fait que personne ne conteste. Mais inférer de là qu'en effet le devoir ne peut provenir que d'une origine supra-naturelle, et que la moralité nous introduit dans un monde supérieur à la nature, c'est simplement transformer le fait lui-même en explication. Il se peut que ces caractères du devoir et, en général, de la conscience morale soient l'effet d'un ensemble de conditions qui se trouvent réunies, à peu près semblables, dans toutes les sociétés humaines un peu civilisées. C'est l'hypothèse que la science sociologique juge la plus conforme aux faits. Il faut croire qu'elle n'a rien de particulièrement choquant, puisque bien avant qu'il fût question de sociologie, et dès l'antiquité, elle était soutenue par les philosophies empiristes et utilitaires.

Quant à opposer à la réalité donnée un autre état social, conçu ou imaginé par nous, où la justice régnerait seule, et que l'on nomme « idéal », c'est en effet de cette façon que nous croyons le mieux sentir combien la moralité nous élève au-dessus de la pure nature.

Mais, en fait, cet idéal n'est autre chose que la projection — plus ou moins transfigurée — de la réalité sociale de l'époque qui l'imagine, dans un passé lointain, ou dans un avenir non moins lointain. Pour les anciens, c'était l'âge d'or ; pour les modernes, c'est la cité de Dieu, ou le règne de la justice. Chaque civilisation, chaque période définie de chaque civilisation a son idéal moral, qui la caractérise aussi bien que son art, sa langue, son droit, ses institutions et son idéal religieux. Bref, cet idéal fait partie précisément de cette réalité sociale à laquelle on l'oppose : mais les éléments imaginatifs qui y entrent pour une grande part permettent de l'en distinguer, et de le séparer du présent, pour se le représenter soit dans le passé, soit dans l'avenir.

Dans ce dernier cas, c'est la forme que prend l'idée de progrès social pour des esprits qui n'en ont pas encore une conception positive et scientifique. Supportant avec impatience les maux et les iniquités de leur condition présente, ils se font une image, imprécise mais consolante, de la réalité qui sera plus tard : d'un monde où les hommes seraient justes et bons, où les égoïsmes se subordonneraient docilement au bien général, où les institutions produiraient ce bien sans contrainte ni souffrance pour personne. Mais, en remontant assez haut dans le passé de l'huma-

nité, nous retrouverions des imaginations du même genre au sujet du monde physique. Partout l'homme s'est plu à opposer à la nature réelle, d'où proviennent pour lui tant de souffrances, de douleurs et de terreurs, l'idée d'une nature bienveillante et douce, où il serait garanti contre la faim, la soif, la maladie, les intempéries :

vestem vapor, herba cubile
Præbebat...

Il reste toujours quelque chose de ce rêve dans les descriptions de l'âge d'or, comme dans celles des paradis. Elles peignent la race humaine non seulement plus innocente mais aussi plus exempte de souffrance, et affranchie de la douleur comme du péché.

Aujourd'hui, l'on a cessé d'imaginer une nature physique autre que celle qui est donnée : on a entrepris la tâche, plus modeste et plus hardie à la fois, de conquérir la nature réelle, au moyen de la science et des applications qu'elle permet. De même, quand la notion de la « nature morale » sera devenue familière à tous les esprits, quand on ne s'en représentera plus les phénomènes sans concevoir en même temps les lois statiques et dynamiques qui les régissent, on cessera d'opposer à cette nature un « idéal » dont les traits les plus précis sont empruntés d'elle. L'effort de l'esprit humain se portera vers la connaissance des lois, condition nécessaire, sinon toujours suffisante, de notre intervention raisonnée dans les séries de phénomènes naturels. A la conception imaginative d'un « idéal » aura succédé la conquête méthodique du réel.

Nous sommes ainsi ramenés à l'idée d'un art rationnel, fondé sur la science de la réalité sociale. Admettre que cette réalité a ses lois, analogues à celles de la nature physique, n'équivaut nullement à la regarder comme soumise à une sorte de *fatum*, et à désespérer d'y apporter aucune amélioration. Au contraire, c'est l'existence même des lois qui, en rendant la science possible, rend possible aussi le progrès social réfléchi. Sur ce point encore, la comparaison de la « nature sociale » avec la « nature physique » est instructive. Ni l'une ni l'autre, semble-t-il, n'a été faite et disposée en vue du bien-être de l'homme par une toute-puissance favorable. Mais l'une est peu à peu asservie par lui, et si les progrès futurs des sciences répondent à ceux des trois derniers siècles, de grandes espérances sont permises. Pareillement, quand les sciences sociales auront fait des progrès comparables à ceux des sciences physiques, on peut penser que leurs applications seront aussi très précieuses.

A ce moment — malheureusement encore très éloigné de nous, puisque les sciences dont il est question en sont elles-mêmes à leurs premiers pas, et que nous ne nous faisons même pas une idée précise de ce que pourront être ces applications, — l'autorité de telle ou telle pratique, de telle ou telle institution, de tel ou tel droit se trouvera compromise, si cette pratique, cette institution, ce droit, sont incompatibles avec les conséquences de faits bien établis. Nous voyons déjà quelques exemples de ce progrès dans l'abandon de pratiques considérées autrefois comme excellentes, ou même comme indispensables, et qui sont contraires en fait, —

l'économie politique l'a démontré, — à la fin même où elles tendaient (défense d'exporter le blé et les métaux précieux ; prolongation du travail dans les manufactures jusqu'à seize et dix-huit heures par jour ; secret de la procédure criminelle, etc.).

A mesure que la science avancera, les occasions deviendront plus fréquentes de substituer aux pratiques traditionnelles des modes d'action plus rationnels, ou simplement de renoncer à des interventions dirigées par des idées fausses, et qui produisent les résultats les plus funestes. De combien de méfaits la médecine et la chirurgie ne se sont-elles pas chargées innocemment, dans leur période préscientifique, qui n'est terminée que d'hier ! De même, que d'efforts perdus, que d'activité dépensée à contre-sens, que de souffrances et de désespoirs causés aujourd'hui par nos arts sociaux, qui en sont encore à cette période, par notre politique, par notre économie sociale, par notre pédagogie, par notre morale ! Loin donc de nous alarmer, la constatation du fait que notre morale tend à perdre son caractère absolu et mystique, pour être conçue comme relative et soumise à la critique, devrait nous réjouir comme un grand et heureux événement. C'est le premier pas dans la voie de la science : voie longue et ardue, mais seule libératrice.

L. Lévy-Bruhl,
Professeur à la Sorbonne.

HISTOIRE

Nous prendrons le mot *histoire* dans sa plus large acception. Nous entendrons par ce mot l'ensemble des manifestations de l'activité et de la pensée humaines, considérées dans leur succession, leur développement et leurs rapports de connexité ou de dépendance. On restreint parfois le sens du mot *histoire* à l'histoire politique, à l'histoire de la formation des États et de leurs rapports mutuels, et on en distingue l'histoire littéraire, l'histoire de l'art, l'histoire de la philosophie, l'histoire religieuse, l'histoire du droit, l'histoire économique, voire même l'histoire des mœurs et de la civilisation. Mais ces diverses histoires ne sont, comme l'histoire politique elle-même, que des parties de l'histoire proprement dite, des points de vue particuliers auxquels on envisage l'activité et la pensée humaines. Le but idéal de l'histoire serait de reconstituer, dans la série des temps, la vie intégrale de l'humanité.

Cette reconstitution sera toujours partielle et imparfaite, car, pour les époques anciennes, un très grand nombre des faits de l'histoire ont disparu sans laisser aucune trace, et pour les temps modernes la multiplicité des documents est trop grande pour qu'il soit possible de les

connaître tous, et de les utiliser tous. Même s'il était possible de les connaître tous, il resterait encore à déterminer leur valeur et la valeur relative des faits auxquels ils se rapportent, et il est impossible de procéder à cette détermination avec une absolue certitude. Il y a donc, dans toutes nos connaissances historiques, une part inévitable d'incertitude, et l'objet de la méthode historique sera précisément d'enseigner par quels procédés d'investigation et d'interprétation on peut circonscrire cette part d'incertitude et atteindre à la vérité approximative la plus parfaite possible[1].

Nous ne nous arrêterons pas à discuter la question de savoir si l'histoire est ou non une science. On lui a quelquefois refusé ce titre, à cause de la

1. Nous devons, dans les étroites limites qui nous sont imposées, nous borner à indiquer les caractères et les procédés essentiels de la méthode en histoire et les questions principales qu'elle soulève. L'analyse la plus précise et la plus détaillée qui ait été faite des conditions et des difficultés de l'investigation et de la construction historiques se trouve dans l'*Introduction aux études historiques*, de Ch.-V. Langlois et Ch. Seignobos (Hachette, 1898). Le compendium le plus complet de toutes les parties de la méthode historique et de tous les problèmes qu'elle soulève est l'ouvrage de M. Ernest Bernheim, *Lehrbuch der historischen Methode und der Geschichtsphilosophie* (Leipzig, Duncker et Humblot; 3e et 4e éd., 1903). Nous indiquerons encore trois ouvrages où les problèmes de la méthode historique sont abordés avec force et précision : H. Bourdeau, *L'Histoire et les historiens*, 1872; P. Lacombe, *De l'histoire considérée comme science*, 1894, et surtout A.-D. Xénopol, *les Principes fondamentaux de l'histoire*, 1899, nouv. éd., sous le titre : *La Théorie de l'Histoire*, 1908. MM. Bréhier et Desdevises du Dézert ont donné un bon résumé des règles essentielles de la critique et de la méthode historiques dans leur brochure : *Le Travail historique*, 1907.

part d'incertitude et de subjectivité qui est inséparable de toute construction historique ; mais cette part de subjectivité est un caractère qui lui est commun avec toutes les sciences dites morales, qui ont pour objet l'homme, les actes ou les pensées de l'homme ; et quant à la part d'incertitude, on peut faire observer qu'elle se trouve à un degré plus ou moins grand dans toutes les sciences, à l'exception des mathématiques pures, qu'elle existe déjà dans les mathématiques appliquées et dans l'astronomie, à un degré plus marqué dans les sciences physiques et chimiques, et plus marqué encore dans les sciences naturelles et biologiques. On ajoute, il est vrai, que les sciences de la nature ont cet avantage de pouvoir constamment vérifier par l'observation directe et l'expérience les faits sur lesquels elles se fondent, donner ainsi à nos connaissances une précision de plus en plus grande, soumettre à un examen constamment renouvelé les synthèses proposées par les savants et enfin formuler les synthèses en lois qui classent et expliquent tous les phénomènes connus et permettent d'en annoncer la répétition ou d'en expliquer les anomalies. Cela est vrai et cela implique la conséquence que les méthodes d'observation, d'analyse et de synthèse appliquées dans les sciences de la nature ne peuvent pas être transportées telles quelles dans les sciences morales ; mais il ne s'ensuit pas que les procédés d'investigation et d'analyse de l'histoire et les synthèses historiques seront dépourvus de tout caractère scientifique. Quant aux lois qui semblent être la condition même de la constitution d'une science, il est évident qu'elles ne peuvent avoir le même caractère ni le même

degré de certitude et d'évidence lorsqu'il s'agit de grouper et de généraliser des phénomènes qui se succèdent dans le temps avec des variations continuelles que lorsqu'il s'agit de grouper et de généraliser des phénomènes qui se répètent toujours identiques à eux-mêmes. Mais l'idée de loi scientifique n'entraîne plus le caractère de certitude absolue qu'on lui a longtemps attribué, et les lois scientifiques nous apparaissent de plus en plus comme des hypothèses provisoires considérées comme vraies aussi longtemps qu'elles paraissent expliquer tous les phénomènes connus d'un même ordre. Et d'ailleurs, dans plusieurs des sciences de la nature, en géologie, en zoologie, en botanique, s'il s'agit d'étudier et d'expliquer les origines et les transformations soit du relief du sol, soit des espèces animales et végétales, ne se trouve-t-on pas en face de problèmes historiques, dont la solution offre des difficultés et des incertitudes analogues à celles que présente l'histoire de l'activité et de la civilisation humaines? La météorologie, à laquelle on ne refuse pas le nom de science, n'offre-t-elle pas jusqu'ici un caractère bien plus grand d'incertitude que l'histoire?

C'est méconnaître la nature même de nos connaissances scientifiques que de n'attribuer le caractère de science qu'à celles de nos connaissances qui peuvent se formuler en lois et de croire que le propre de la loi est de pouvoir prédire le retour certain des mêmes phénomènes. La science ne prédit rien avec certitude, car elle implique toujours la condition : « toutes choses restant égales d'ailleurs. » La vérité est que le point de vue historique est un des deux points

de vue auxquels la science se place pour étudier les faits de tout ordre, quand elle les envisage dans leur succession au lieu de les envisager dans leur répétition. Comme l'a très bien exposé M. Xénophol, la science des faits de répétition formule en lois leurs conditions d'existence; la science des faits de succession ne peut formuler de loi; elle les groupe en séries et établit entre eux des rapports de cause à effet.

Tous les phénomènes de la nature peuvent être ainsi étudiés historiquement. On appelle *histoire* cette étude quand elle s'applique aux manifestations de l'activité humaine.

L'histoire ainsi entendue est une science en ce sens qu'elle a pour objet de réunir, de vérifier et de coordonner tout un ensemble de connaissances d'un même ordre, et les connaissances les plus importantes à l'homme, celles qui concernent son propre être, tout le développement qui l'a fait ce qu'il est. Elle est une science en ce sens que cette réunion, cette vérification et cette coordination sont soumises à des règles spéciales de critique et de méthode scientifiques. L'histoire est cependant aussi un art en ce sens que la manière d'exposer les résultats des recherches historiques dépendra beaucoup du talent, du tempérament, des qualités intellectuelles de chaque historien.

S'il est vrai de dire que la rhétorique est une science qui trace les règles de l'art qu'on appelle l'éloquence, on peut dire que l'investigation et la construction historiques constituent une science qui fournit ses matériaux à l'art de l'histoire. En un mot, c'est dans la méthode et la critique historiques et dans les résultats de leurs opéra-

tions que consiste la science de l'histoire. Tout ce qui est mise en œuvre, exposition, est l'art de l'histoire. Nous dirons plus loin la nature et les limites de cet art.

Naturellement l'histoire prendra un caractère plus ou moins scientifique suivant que l'on croira les manifestations de l'activité humaine plus ou moins soumises aux lois du déterminisme. Si l'on est bien convaincu que tout fait historique a, comme tout phénomène naturel, sa cause et son explication dans les faits qui l'ont précédé, on pourra procéder au travail de coordination et de généralisation avec infiniment plus de sécurité que si l'on s'imagine trouver dans le libre arbitre humain une cause autonome qui à chaque instant peut modifier le cours de l'histoire. A vrai dire tous les historiens ont toujours raconté l'histoire comme formant une chaîne ininterrompue de causes et d'effets. Toutefois il en est qui ont présenté les grands hommes comme jouant dans l'histoire un rôle à part, indépendant et supérieur à celui des causes générales agissant avant leur apparition, et il est des philosophes qui, comme Pascal, n'ont vu dans la marche de l'histoire qu'une série d'accidents dont la succession échappe à toute explication. Pour nous, sans nier dans l'histoire le rôle de ce qu'on appelle l'accident ou le hasard, non seulement nous ne croyons pas que le nez de Cléopâtre eût pu, s'il avait été plus court, changer la face du monde ; mais nous pensons que ni Cléopâtre ni César lui-même ne sont indispensables à la marche du monde telle qu'elle s'est développée au Ier siècle avant notre ère, étant entendu d'ailleurs que César et Cléopâtre et même la longueur du nez de la reine

d'Égypte sont des faits aussi nécessaires à un certain point de vue que la transformation de la République romaine en Principat.

Il faut pourtant ne pas oublier que dans tous les phénomènes de la vie il y a un élément individuel et nouveau qui vient s'ajouter aux éléments antérieurs qui les ont produits, et ce sera précisément un des devoirs de la science historique de chercher à discerner dans les actes humains cette part d'individualité créatrice impossible à prévoir et à déterminer d'avance, bien qu'elle soit conditionnée comme tout le reste, qui vient s'ajouter aux causes connues et discernables.

La science de l'histoire, comme toutes les sciences d'induction, se décompose en deux opérations essentielles : *analyse* et *synthèse*. Nous n'avons pas à parler ici des règles générales de méthode qui s'imposent à toute science d'induction et que Bacon a le premier énumérées. Nous ne parlerons que des règles spéciales propres à la méthode historique.

I. — Analyse

Critique des sources.

Le travail d'analyse de l'historien se compose essentiellement à son tour de deux opérations : la critique des sources et la critique des faits. L'histoire offre ceci de particulier que, bien qu'elle soit une science de faits, elle n'est pas une science d'observation; du moins elle n'est une science d'observation qu'en ce qui concerne l'examen des sources ; elle n'est pas une science

d'observation en ce qui concerne les faits et leur interprétation. Sans doute un historien peut écrire sa propre biographie ou faire le récit des événements dont il a été le témoin et, dans ce cas, il réunit des faits observés par lui ; mais une autobiographie n'est pas une histoire, c'est une source de l'histoire, qui nous donne, non les faits eux-mêmes, mais l'impression produite par eux sur un témoin. L'histoire commence quand un savant réunit toutes les sources par lesquelles il peut connaître un événement ou une période, pour en obtenir la connaissance la plus vraie et la plus complète possible. Tandis que le naturaliste étudie un animal, une plante ou une roche directement, et peut soumettre l'objet de son observation à dix, à vingt autres savants, l'historien ne connaît jamais directement les faits, il ne connaît que l'impression qu'ils ont laissée sur ceux qui en ont été les témoins ou qui en ont entendu parler. Il importera au plus haut degré de savoir quelle est la nature et l'autorité de ces témoignages. Le premier travail de l'historien sera donc la critique des sources de l'histoire.

Ces sources peuvent être de nature très diverse. Je n'en donnerai qu'un classement sommaire, tout pratique et sans prétentions philosophiques.

Je distinguerai parmi les sources les *ouvrages*, les *actes* et les *monuments*.

A. Les *ouvrages* peuvent être des écrits proprement *historiques :* généalogies, chronologies, annales, chroniques, mémoires, biographies, histoires, ou des écrits *non historiques*, mais dont

l'historien peut se servir comme de sources, ne fût-ce que pour l'histoire des idées et des mœurs ; œuvres littéraires en vers et en prose, œuvres philosophiques, théologiques, juridiques, économiques. Naturellement, certains de ces écrits pourraient être rangés dans la première catégorie, par exemple les poèmes historiques ou les écrits qui traitent de la philosophie, de la théologie, du droit ou de l'économie politique, au point de vue de leur histoire.

B. Je réunis sous le nom d'*actes* les documents qui n'ont pas le caractère d'ouvrages historiques ou littéraires, mais sont des actes de la vie publique ou privée, qu'ils aient d'ailleurs pour but de conserver le souvenir d'un fait, ou tout autre but d'utilité pratique. Je distingue les *actes historiques*, écrits ou gravés, qui ont pour but de conserver le souvenir d'un fait ou qui sont eux-mêmes des faits historiques : chartes, diplômes, traités, actes notariés, procès-verbaux d'assemblées, inscriptions, des *actes non historiques* qui n'ont pas pour but de conserver pour l'avenir des souvenirs du passé, mais ont un but purement pratique : lois, formules juridiques, jugements, comptes, inventaires, lettres, sermons. Il faut observer que certains actes peuvent avoir le caractère d'écrits historiques, par exemple l'inscription de Béistoun, ou la stèle du roi Mésa, ou l'inscription d'Ancyre, que les lettres et les sermons peuvent être aussi considérés comme des écrits littéraires, et que certaines lettres, comme les lettres des Croisés, peuvent être regardées comme des fragments de chroniques.

C. Le troisième groupe de sources est constitué par les *monuments*, c'est-à-dire par les objets ou

édifices qui peuvent servir de documents à l'histoire. Ici encore on peut distinguer les *monuments historiques*, c'est-à-dire les objets ou édifices qui ont pour raison d'être la commémoration d'un fait, le désir de conserver le souvenir d'un personnage, tels que les monuments commémoratifs, arcs de triomphe, colonnes, tombeaux, portraits sculptés, peints, dessinés ou gravés, sceaux, médailles, et les *monuments non historiques*, c'est-à-dire les édifices et objets de tout genre qui doivent leur existence, non à un motif de commémoration, mais à une raison d'utilité : les constructions de toute nature, les objets d'art, d'ameublement, d'habillement, les ustensiles de tout ordre, les monnaies, les armoiries. Les monnaies, il est vrai, se confondent parfois avec les médailles, et les légendes qu'elles portent prennent une valeur historique. Les armoiries pourraient aussi être rapprochées des sceaux et considérées comme des objets d'un caractère historique.

L'étude externe de ces divers ordres de sources, considérées en elles-mêmes, au point de vue de leur classement et de leur interprétation, a donné naissance à une série de disciplines spéciales qu'on réunit sous le nom de *sciences auxiliaires* de l'histoire, bien qu'elles ne soient à vrai dire qu'une partie, la partie préparatoire de la critique des sources.

La *paléographie* est la science des anciennes écritures, la *diplomatique* celle des chartes et diplômes, l'*épigraphie* celle des inscriptions, la *sphragistique* celle des sceaux, le *blason* celle des armoiries, la *numismatique* celle des monnaies, l'*archéologie* celle des monuments et objets de

toute nature qui nous font connaître la vie du passé. Quelques-unes de ces sciences préparatoires de l'histoire sont assez vastes pour occuper toute une vie de savant, et d'ailleurs elles ne peuvent se séparer de l'histoire elle-même ; nul ne saurait pratiquer avec supériorité la numismatique, l'épigraphie, l'archéologie, sans être en même temps historien.

Il faut ajouter à ces sciences auxiliaires de l'histoire la *chronologie*, qui ne peut guère, il est vrai, être séparée de la diplomatique, mais qui, néanmoins, si on la considère dans son ensemble et dans ses applications à tous les temps et à tous les peuples, constitue bien, par ses rapports avec les mathématiques et l'astronomie, une discipline à part.

On regarde aussi parfois comme des sciences auxiliaires de l'histoire la *géographie* et l'*ethnographie*, en tant qu'elles étudient, l'une la terre comme habitat de l'homme, l'autre les caractères physiques qui distinguent les divers groupes d'hommes. La géographie et l'ethnographie sont sans doute des sciences naturelles, mais elles sont indispensables à l'étude des sociétés humaines et à la connaissance de l'histoire.

On pourrait enfin considérer certaines branches de l'histoire, l'histoire littéraire, l'histoire du droit, l'histoire de l'art, l'histoire de la philosophie, des sciences, de la théologie, comme jouant à l'égard de l'histoire proprement dite le rôle de sciences auxiliaires, puisqu'elles critiquent, classent et élucident des séries d'œuvres et de faits qui servent de sources à l'histoire. Il y aurait néanmoins quelque abus à considérer

comme sciences auxiliaires de l'histoire des applications particulières de l'histoire.

La critique des sources se pose, à propos de tous les documents qui lui sont soumis, deux questions : celle de l'*authenticité* et celle de l'*autorité* du document. La question d'authenticité, la question de savoir à quelle date et à quel auteur appartient un document, et s'il n'a pas été fabriqué avec l'intention de nous tromper sur son origine et sa nature, est relativement la plus aisée à résoudre. Les sciences auxiliaires que nous venons d'énumérer ont précisément pour objet de fournir à l'historien les moyens de reconnaître les signes d'authenticité des documents, de les déterminer, de les classer.

La question d'autorité est beaucoup plus compliquée et plus embarrassante, et il est difficile de l'envisager en elle-même, indépendamment de la critique et de l'interprétation des faits. Lorsque nous sommes en présence d'un témoignage historique quelconque, nous avons à nous demander d'une manière générale si le témoin a pu se tromper ou a voulu nous tromper; mais ces deux questions en supposent une foule d'autres, trop nombreuses pour être toutes énumérées : comment le témoin a connu ce qu'il rapporte, et dans quelles conditions il l'a rapporté, s'il était bien informé, intelligent et impartial. Celui qui a été un acteur des événements qu'il rapporte les connaît mieux que celui qui n'y a pas été mêlé, mais il est difficile qu'il les raconte sans parti pris, et quand le témoin n'a été ni acteur ni spectateur, il y a tout un travail, plus délicat encore, à faire pour savoir à quelles sour-

ces il a puisé ses renseignements. On distingue parfois, au point de vue de la critique, la tradition orale et la tradition écrite. Cette distinction n'a pas de portée pratique. Nous ne connaissons pour le passé la tradition orale que lorsqu'elle est écrite et il y a des degrés infinis dans la tradition orale, depuis celle qui est recueillie sur-le-champ telle qu'elle est sortie de la bouche d'un témoin oculaire, jusqu'à celle qui s'est transmise de bouche en bouche pendant plusieurs générations et qui n'a qu'une valeur légendaire.

Aucune règle précise ne peut être appliquée à ces recherches sur l'autorité des témoignages, tant sont variés les éléments qui doivent décider de notre jugement. Il peut arriver qu'un témoignage écrit sur le ton de la passion soit plus vrai et plus impartial qu'un témoignage d'une froideur calculée. Les erreurs commises par les témoins honnêtes dont on ne se méfie pas sont plus dangereuses que les inexactitudes des témoins passionnés ou menteurs qui souvent contiennent en elles-mêmes la preuve de leur fausseté. Souvent aussi le parti pris ne se manifeste que par des réticences, et on altère aussi fréquemment la vérité par ce qu'on tait que par ce qu'on dit. Les *Commentaires* de César doivent être peut-être l'objet d'autant de méfiance que les *Annales* de Tacite.

On dit parfois que le témoignage des actes authentiques doit être préféré à celui des écrits historiques, parce qu'ils sont d'une date certaine, contemporains et dépourvus de passion personnelle. Il est indubitable que les actes nous fournissent un moyen précieux de contrôle pour la

critique des ouvrages des chroniqueurs et des mémorialistes, et que leur témoignage est inappréciable. quand il est immédiat et contemporain. Mais combien d'actes ont été écrits par des témoins passionnés, combien ont été rédigés avec l'intention de donner le change sur la réalité des faits ! Combien l'histoire officielle d'une bataille, d'une négociation, par exemple, est souvent différente de l'histoire réelle ! On dit : « menteur comme une épitaphe, » on pourrait dire aussi : « menteur comme un livre jaune, vert ou bleu. » Que d'inscriptions, de médailles ne sont que de fastueux mensonges !

Il n'y a donc pas de règle absolue qui puisse *a priori* faire préférer un genre de source à un autre. On n'arrive à déterminer avec un peu d'exactitude l'autorité d'une source que si l'on a pu la confronter avec beaucoup d'autres, et après qu'on en a soumis tout le contenu à un minutieux examen, c'est-à-dire quand on a associé la critique des faits à la critique de la source.

Si nous n'avions à juger que des sources émanant de témoins oculaires ou du moins contemporains des événements, nous pourrions apprécier leur autorité sans trop de peine ; mais les documents que nous avons à consulter ont le plus souvent emprunté les renseignements qu'ils nous fournissent à des sources antérieures perdues, dont nous ignorons fréquemment la provenance et la nature. La recherche et la critique des sources perdues, utilisées par les sources conservées, est une des parties les plus difficiles de la critique historique.

Critique des faits.

Lorsqu'on a établi, aussi exactement que possible, l'authenticité et l'autorité générales des sources dont on doit se servir, le travail de critique le plus délicat reste encore à accomplir : établir le degré de crédibilité de chaque fait en particulier, en fixer la date et la place dans la chaîne des faits historiques. Chaque fait doit être l'objet d'un examen spécial, car un document émanant du témoin le plus intelligent et le plus honnête peut contenir des faits faux, et au contraire des faits exacts et importants peuvent se trouver dans des sources d'ailleurs impures.

Avant même de s'occuper de déterminer la valeur d'un texte, il faut en fixer exactement le sens. Une analyse attentive est pour cela nécessaire ; car les mots n'ont pas toujours un sens certain. Les écrits qui nous font connaître le monde barbare du ve ou du vi^e^ siècle sont des mots latins qui bien souvent s'appliquent aux faits politiques ou sociaux qu'ils expriment aussi inexactement que les noms des divinités romaines aux dieux germaniques. Il arrive qu'un même terme latin soit appliqué à deux institutions différentes, ou qu'une même institution soit désignée par deux termes différents.

Une fois l'analyse du texte achevée et son sens fixé avec la plus grande précision possible, il reste à connaître la valeur des renseignements qu'il nous apporte, et cette valeur dépend, indépendamment de l'autorité générale de la source consultée, des conditions dans lesquelles son

auteur a connu chacun des faits qu'il nous rapporte, et dont les uns ont été connus directement par lui, d'autres empruntés à des sources écrites, d'autres à des témoignages oraux. Dans le premier cas, nous devons nous rendre compte des conditions subjectives qui infirment ou confirment la valeur du témoignage ; dans les autres, la critique des faits est d'autant plus compliquée que nous ignorons souvent la nature de la source où a puisé l'auteur que nous consultons ; qu'il nous arrive de ne pouvoir distinguer une tradition légendaire d'un renseignement vraiment historique transmis par écrit que par la forme seule sous laquelle le fait nous est présenté ; et qu'enfin il y a souvent deux ou plusieurs intermédiaires entre la source primitive et celle où nous puisons. Le moyen le plus sûr, pour constater la vérité d'un fait et pour en déterminer le caractère, est la comparaison des diverses sources qui le rapportent ; cette comparaison comporte en elle-même des chances diverses d'erreurs, d'autant plus que, souvent, alors qu'on croit avoir trouvé dans plusieurs sources la confirmation d'un même fait, on est simplement en présence d'un témoignage unique, plus ou moins servilement copié par plusieurs auteurs. Mais de plus toute comparaison de témoignages est souvent impossible, surtout pour les époques anciennes, parce qu'un très grand nombre des faits de l'histoire ne nous sont connus que par un témoignage unique. Si l'on voulait appliquer en histoire le principe : *testis unus, testis nullus*, qui d'ailleurs n'est nulle part strictement appliqué, pas même en justice, on serait condamné au silence et au doute sur de longues périodes, sur une foule de

faits d'une importance capitale. Sans doute il faut se garder de l'illusion naïve par laquelle on est disposé à accepter un fait comme certain par cela seul, qu'étant connu par une source unique, il n'a jamais été contredit. Mais diverses raisons nous autorisent à utiliser pour la connaissance de l'histoire des sources qu'aucune autre source indépendante ne permet de contrôler. Tout d'abord on ne doit pas oublier que tout document historique est en lui-même un fait historique, que les documents sont même les seuls faits historiques susceptibles d'observation directe et permanente, que s'ils ne nous renseignent pas toujours avec certitude sur les faits de l'histoire, ils nous renseignent toujours sur ce que leurs auteurs et le plus souvent aussi les contemporains savaient et croyaient sur ces faits. En outre nous pouvons, indépendamment de ce que nous savons de la crédibilité des témoignages, trouver des motifs de confiance dans l'accord des faits entre eux, soit l'accord des faits simultanés qui nous sont rapportés, soit l'accord des faits successifs qui s'enchaînent et s'expliquent les uns les autres. Il y a dans l'évolution historique une conséquence et une logique qui peuvent dans une certaine mesure nous guider dans l'appréciation de faits pour lesquels d'autres éléments de critique nous font défaut.

D'ailleurs l'histoire ne se compose pas uniquement, elle ne se compose même pas essentiellement des événements plus ou moins dramatiques que les annalistes et les historiens d'autrefois nous ont racontés ; elle se compose aussi de tout un ensemble d'institutions, de coutumes et de lois, de manières de vivre, de penser et de sentir,

qui constituent la civilisation des diverses époques et sur lesquelles nous sommes directement renseignés par des textes juridiques positifs, dont le témoignage est indiscutable, même quand il est unique, par des monuments et des inscriptions, par des textes littéraires de tout genre, par les mille objets que le passé nous a transmis. Sans doute, ici encore, la critique a sa tâche à accomplir. Les textes ont besoin d'être analysés de près pour être bien compris, et il faut savoir s'ils correspondent à des réalités, si les lois ont été appliquées, comment les institutions fonctionnaient, quelle est l'étendue et la portée des faits constatés par les inscriptions, si les sentiments et les idées exprimés dans des textes littéraires sont ceux d'une époque ou seulement ceux d'un individu. Néanmoins, nous avons là une foule de documents dont la valeur peut être appréciée avec une certitude suffisante, et qui, examinés tour à tour par une foule de savants, comparés entre eux, contrôlés incessamment par des découvertes nouvelles, fournissent à l'histoire une base de plus en plus solide.

Dans ce travail de critique et d'interprétation des faits particuliers, nous ne devons pas oublier qu'il entre nécessairement un élément subjectif. Que nous le voulions ou non, nous ne pouvons voir les faits historiques du passé, qu'à travers la connaissance que nous avons des faits historiques du présent. L'image que nous nous faisons du passé se forme par analogie avec le présent, soit que nous soyons frappés des ressemblances qui les rapprochent, soit que nous notions les dissemblances qui les séparent ou les opposent. Cet élément subjectif inévitable, qui peut être pour

l'observateur superficiel une cause redoutable d'erreur en lui faisant défigurer le passé par des assimilations forcées avec le présent, ou en lui rendant le passé incompréhensible parce qu'il lui prête une originalité et une étrangeté imaginaires, devient au contraire un guide précieux pour l'historien scrupuleux et doué de finesse critique. C'est par une comparaison attentive des faits du passé avec d'autres faits analogues pris dans des époques et des pays différents, mais surtout avec les faits les mieux connus de nous, avec les faits présents observés directement par nous, que nous arrivons à en pénétrer le caractère, à en préciser l'importance, à y reconnaître simultanément les éléments de généralité qui les rattachent, soit aux conditions universelles de la vie de société, soit aux conditions générales de tel ou tel état de civilisation, et les éléments de singularité qui en font des traits particuliers et caractéristiques d'une époque ou d'un pays. On a dit quelquefois que l'histoire nous aide à comprendre notre temps ; il est peut-être plus vrai encore de dire que notre temps nous aide à comprendre l'histoire. Ou plutôt c'est la comparaison méthodique de l'histoire et de notre temps qui nous permet de comprendre l'un et l'autre.

Nous reparlerons de la méthode comparative quand nous nous occuperons de la synthèse historique ; car elle a son rôle à tous les degrés de l'investigation historique et nous aurons occasion de dire les critiques qu'on lui a adressées et les périls qu'elle peut offrir ; mais il était nécessaire d'en indiquer l'usage dès les premières opérations de la critique et l'impossibilité d'y échapper. Le rôle essentiel de la méthode est précisé-

ment de ramener à des règles précises et à des démarches prudentes et conscientes, les impulsions spontanées et instinctives de notre esprit. Toutes les règles de la méthode ne sont, à vrai dire, que des règles de bon sens, qu'un bon esprit, semble-t-il, doit appliquer naturellement sans avoir besoin de les formuler. L'expérience prouve, cependant, que de très grands et très bons esprits les ont souvent méconnues, et que les progrès de la science historique ont été puissamment aidés par la conscience de plus en plus nette de leur importance et du danger qu'entraîne leur oubli.

Ouvrages de critique historique.

Un des premiers devoirs de méthode qui se sont imposés aux historiens dès qu'ils se sont bien rendu compte des difficultés de leur tâche, a été la division du travail; et en particulier la nécessité, avant d'écrire l'histoire, de procéder à un examen critique des sources et à une série de travaux préparatoires de critique sur les diverses parties de l'histoire. Dès le XVIIe siècle, dès qu'on eut entrepris la publication des sources de l'histoire, on a commencé d'en faire la critique ; mais, au XIXe siècle, ce travail a été mené avec une activité et avec une précision minutieuse qui ont parfois conduit les érudits aux exagérations de l'hypercritique. La critique des sources est devenue un des exercices habituels des séminaires universitaires où l'on forme les jeunes historiens, et les monographies critiques, en se multipliant, ont permis d'écrire l'histoire des sources pour des périodes importantes. Très avancé pour les

périodes reculées de l'histoire, ce travail est encore très imparfait pour l'histoire moderne et contemporaine. Nous avons déjà dit, en outre, que les sciences auxiliaires de l'histoire s'occupent chacune de la critique d'une catégorie spéciale de sources.

A ces travaux de critique des sources s'ajoutent des travaux de critique des faits. Une foule de monographies historiques n'ont pas d'autre objet que de réunir tous les renseignements qu'on possède sur la biographie d'un personnage, sur un événement ou sur une période déterminée de l'histoire, et de les passer au crible pour distinguer les faits acquis à la science de ceux sur lesquels on reste encore dans l'incertitude. Dès le XVIIe siècle, Lenain de Tillemont dans son *Histoire des Empereurs*, sa *Vie de saint Louis* et ses *Mémoires pour servir à l'Histoire ecclésiastique* a donné l'exemple de ces ouvrages qui ne sont qu'une sorte d'inventaire méthodique des faits historiques. Au XIXe siècle l'Allemagne a entrepris, avec une critique plus sûre, des répertoires de faits qui peuvent servir de préparation et de base à des ouvrages de narration ou de généralisation, des manuels d'institutions, des annales des règnes des souverains. Partout on a suivi cet exemple ; toutes les périodes, tous les divers groupes de faits historiques sont successivement l'objet d'un examen critique. Bien qu'il ne faille pas confondre ces travaux préparatoires d'analyse avec les ouvrages de synthèse qui doivent faire revivre le passé, dans sa réalité complexe, matérielle et spirituelle, il est bien rare que leurs auteurs s'en tiennent simplement à la critique et au classement des

faits et n'y mêlent pas un certain effort de construction et de généralisation historiques.

II. — Synthèse

Construction et généralisation historiques.

La critique historique et les sciences auxiliaires qui s'y rattachent offrent ceci de satisfaisant à ceux qui s'y livrent qu'elles peuvent opérer par des procédés vraiment scientifiques et arriver à des résultats positifs et certains. Mais ces résultats sont loin de répondre à la curiosité qui s'empare de l'esprit de l'homme quand il se tourne vers le passé. Ils n'ont guère plus de valeur que les collections d'un musée de minéralogie ou d'un herbier botanique. L'homme étudie les phénomènes naturels pour connaître l'ensemble de la nature et comprendre son mécanisme, le mécanisme et les lois de sa vie et de son développement. L'homme étudie l'*histoire* pour connaître et comprendre, s'il le peut, l'ensemble et les conditions de la vie des sociétés et, sinon les lois, du moins les grandes lignes du développement de l'humanité. Il y a dans les sciences de la nature une part d'hypothèse, d'imagination et de raisonnement subjectif lorsqu'il s'agit d'expliquer les origines et le développement des phénomènes naturels; il y a dans l'*histoire* des phénomènes naturels, dans l'histoire d'un fleuve, d'un volcan, d'une espèce animale ou végétale, une part d'accidentel et d'inexpliqué. Mais les phénomènes qu'étudient les sciences naturelles étant avant tout et en majeure partie permanents et se reproduisant par des causes, des forces et des lois invariables, peuvent être constamment observés et

contrôlés ; les hypothèses qu'ils suggèrent se font de plus en plus précises et explicatives de l'ensemble des faits, et en tout cas sont soumises à une discussion fondée sur des faits vérifiables et acceptés de tous. L'*histoire* des phénomènes, leur variabilité ne tient qu'une place subordonnée dans l'étude des sciences naturelles.

Dans l'étude de l'humanité tout est *histoire*, même le présent, car le présent est devenu passé au moment même où nous l'avons observé. On pourrait soutenir que, tout y étant *histoire*, tout y est accidentel et que tout y étant accidentel, tout y est inexpliqué ; que par suite tout ce que nous pouvons dire sur l'origine et le développement des phénomènes historiques est hypothèse pure, imagination, raisonnement subjectif et conclusions indémontrables.

Pourtant il n'en est pas ainsi. Nous savons que les phénomènes historiques, aussi bien que les phénomènes naturels, forment un ensemble indissoluble de causes et d'effets, que, parmi ces causes, il y en a dont la puissance est infiniment plus considérable et plus durable que celle d'autres causes, que si le détail de l'histoire est souvent incertain et contestable, les faits essentiels et les caractères généraux des divers moments de l'évolution historique sont assez bien établis pour permettre de les décrire et d'en discuter la valeur. Sans doute les événements de l'histoire sont beaucoup plus difficiles à saisir dans leur réalité objective que les phénomènes naturels ; mais nous avons vu qu'on peut cependant par la critique arriver à en fixer un grand nombre, et que d'ailleurs un certain nombre de documents, les lois, par exemple, ou les statis-

tiques économiques, sont eux-mêmes des faits historiques, et de ceux qu'il importe le plus de connaître pour comprendre l'évolution humaine.

Le travail de la critique historique ne nous fournit qu'une masse de documents dont elle s'est efforcée de déterminer le degré d'authenticité et de certitude, mais dont elle n'a pas fixé la valeur ni la place relative dans la chaîne des causes et des effets. C'est ce nouveau travail de classement, de groupement, de coordination et de synthèse qui constitue l'œuvre propre de l'histoire, la construction historique. L'histoire d'une période, d'un groupe de faits quelconque n'existe vraiment que lorsque les faits ont été réunis, coordonnés, et présentés dans leurs rapports mutuels de dépendance, de façon à en faire comprendre la naissance et le développement, et à montrer comment d'un état de choses existant à une date déterminée sort à une date postérieure un état de chose ou semblable ou différent. Deux difficultés se présentent à l'historien dans ce travail : d'une part il ne peut songer à rendre compte de tous les faits que le passé nous a transmis; il est contraint de faire un choix pour ne conserver que ceux qui ont une réelle importance pour l'intelligence de l'évolution historique; d'autre part, il y a des lacunes dans la chaîne des faits qui lui sont connus et il est contraint de suppléer par le raisonnement à ce qu'il y a d'insuffisant dans ses sources, pour faire pleinement comprendre cette évolution. On conçoit quelles précautions exige cette double opération, l'impossibilité d'y appliquer des règles absolues, et la large part qui y est laissée au sens critique de l'historien, aux qualités subjectives de force, de pensée et d'imagi-

nation par lesquelles il reconstitue dans son cerveau l'image du passé. Il lui sera nécessaire de dénombrer, autant que possible, tous les faits connus, avant d'y choisir les faits essentiels autour desquels il groupera tous les faits accessoires et dont dépendent ceux même dont il ne dira rien ; il devra aussi, lorsqu'il suppléera par un raisonnement logique imaginatif au silence des sources, avoir constamment présents à la pensée les faits certifiés et prouvés, se rendre exactement compte de ce qu'il y ajoute et n'y rien ajouter que d'indispensable, sans les déformer jamais.

Ce groupement des faits peut d'ailleurs être opéré à des points de vue différents, suivant que l'historien se propose de raconter l'histoire d'une époque, celle d'un homme ou d'une collectivité, ou celle d'une catégorie spéciale de faits, économiques, juridiques, sociaux, politiques, religieux, artistiques, littéraires, etc. La difficulté de son travail variera beaucoup suivant la nature des faits et l'époque qu'il étudiera. Par exemple l'histoire économique des temps rapprochés de nous sera relativement aisée et fournira des résultats très solides, grâce à la masse de documents certains que nous possédons ; l'histoire économique de l'antiquité ou du moyen âge exigera des efforts énormes de raisonnement et d'imagination, et n'arrivera qu'à des résultats incertains.

D'une manière générale, l'historien travaille sur les deux catégories de faits qui constituent la vie de l'humanité : des faits matériels, les actes des hommes; des faits spirituels, leurs pensées, leurs sentiments, leurs croyances, leurs passions. Ces faits nous sont connus, nous l'avons vu, soit par les renseignements fournis par des

témoins plus ou moins sincères, et plus ou moins bien renseignés, soit par des monuments (écrits de tous genres, édifices ou objets) qui sont des actes ou sont l'expression directe des pensées et des sentiments des anciens hommes. On peut, si l'on veut, considérer séparément les faits d'ordre matériel et les faits d'ordre spirituel, comme on peut aussi scinder l'histoire en monographies, et étudier à part chacune des manifestations particulières de l'activité matérielle ou spirituelle de l'humanité (guerre, diplomatie, art, religion, etc.). Mais l'histoire prise en elle-même embrasse l'ensemble de ces manifestations, dans leurs relations réciproques et dans l'action simultanée qu'elles exercent sur la marche de la civilisation. Toutefois rien n'est plus difficile que d'embrasser d'un seul regard tout l'ensemble des causes qui, à un moment de la durée, décident de la marche des événements. Les causes qui agissent sur l'évolution humaine se présentent à notre regard plutôt sous forme de séries agissant parallèlement. Si par exemple j'ai à étudier les causes qui ont fait de Paris la capitale de la France centralisée, je puis, je suis même presque obligé de considérer successivement la situation géographique de Paris, et les conditions de climat, de viabilité, d'agriculture, de commerce et d'industrie qui ont fait de la région parisienne le résumé et le centre d'attraction de la France du Nord, puis le caractère de la population parisienne, la politique des rois, le rôle de l'Église, celui des écoles, etc., séries distinctes de faits qui s'enchaînent pourtant étroitement et qui convergent toutes à un même résultat : la centralisation française et le rayonnement de Paris sur l'Europe.

Une autre difficulté dans le travail de construction historique et de groupement des faits vient du double objet que l'historien est obligé de se proposer simultanément. Il doit tenir compte en même temps du général et du particulier, de ce que Cournot appelle les « causes constitutionnelles » et les « causes adventices », ou Lacombe, « l'institution » et « l'accident », des nécessités géographiques, sociales, politiques, économiques qui règlent la marche générale de la civilisation, et des accidents (auxquels on a tort d'appliquer le mot irrationnel de *hasard*, source de tant de malentendus), qui donnent à la société, à la civilisation, à l'histoire de chaque époque sa forme et sa couleur particulières. On a dit avec une égale raison que le général seul mérite d'être connu et retenu, et qu'il n'y a d'histoire que du particulier. Le devoir de l'histoire est, en effet, de noter ce qu'il y a de particulier, d'individuel dans chaque époque, chaque pays, chaque peuple ; mais ce particulier, cet individuel n'est intéressant qu'à la condition d'être rattaché au mouvement général de la société et aux éléments constitutifs de l'évolution humaine. L'organisation féodale, par exemple, s'est produite à diverses époques et chez divers peuples sous la pression de conditions sociales de même nature. On ferait peut-être de la sociologie, mais on ne ferait pas de l'histoire, si l'on se contentait de noter ces conditions semblables et générales. La mission de l'histoire est d'indiquer ces conditions générales, mais en notant comment elles se sont manifestées sous des formes différentes au Japon, dans l'Inde, dans l'Empire Byzantin et dans les divers pays de l'Europe occidentale.

C'est par la méthode comparative que nous arrivons le mieux à faire le départ des causes et des conditions générales d'avec les accidents particuliers. M. Fustel de Coulanges, qui avait fait de la méthode comparative un emploi hardi et peut-être critiquable dans la *Cité Antique*, s'est plus tard élevé avec force contre cette méthode dont il a signalé les périls. Elle peut en effet conduire à des assimilations trompeuses et à des distinctions arbitraires, mais nul historien qui veut sortir de la pure narration pour considérer à un point de vue un peu large les divers états de civilisation, ne peut se soustraire à l'emploi de la méthode comparative.

La construction synthétique de l'histoire se compose donc d'un travail simultané de généralisation et, si j'ose dire, de particularisation. La particularisation elle-même contient une part de synthèse, car elle ne peut se faire qu'en choisissant avec discernement critique, et avec une vue claire de l'ensemble, les traits et les faits essentiels qui constituent le caractère particulier de cet ensemble. Quant à la généralisation, qui à son tour n'est sérieuse que si elle repose sur une minutieuse analyse, c'est bien à tort qu'on la déclare parfois vaine et chimérique, et qu'on prétend qu'elle ne peut être que la somme monstrueusement erronée d'une collection de détails inexacts. Quelque paradoxale que cette affirmation puisse paraître au premier abord, les généralités en histoire offrent souvent plus de vérité et de certitude que les détails mêmes qui leur servent de base. De même que notre œil peut se faire une idée juste d'un édifice, d'un paysage, sans en avoir repéré exactement les dimensions ou relevé

tous les accidents de terrain, de même que nous pouvons connaître un homme sans avoir analysé toutes ses actions et pénétré tous leurs mobiles, il y a en histoire une vérité générale qui se dégage d'un ensemble de faits, même si la connaissance de ces faits comporte des inexactitudes. Ces inexactitudes, d'ordinaire, loin de s'accumuler, se compensent pour un historien doué d'esprit critique ; car il rectifie constamment ses vues générales en les replaçant dans les séries successives d'événements historiques ou d'états de civilisation pour lesquels il possède un certain nombre de points de repère solides.

La notion de Valeur et le Symbolisme historique.

J'ai dit que pour grouper les faits, il est nécessaire de se rendre compte de leur valeur. Ce mot de *valeur* a été pris dans des acceptions fort diverses et a besoin d'être expliqué pour ne pas prêter à des malentendus. En parlant de la valeur des faits historiques, on a souvent voulu évaluer leur portée morale, ou philosophique, ou religieuse, ou politique, ou sociale. Je ne refuse pas aux moralistes ou aux hommes politiques le droit de se livrer à ces appréciations, mais, en parlant de la valeur des faits, je n'entends parler que de leur importance dans la chaîne des effets et des causes. Il n'est pas douteux que la valeur des événements diffère, que ce soient d'ailleurs des événements d'une portée générale, préparés par des causes générales discernables, comme la Révolution française, ou que ce soient des événements particuliers et accidentels comme la perte ou le gain d'une bataille, la

mort prématurée ou la longévité d'un personnage, qui, en apparence tout au moins, dirigent ou font dévier temporairement le cours de l'histoire. Il est impossible d'écrire l'histoire sans choisir les faits historiques pour leur donner une place et un développement proportionnés à leur valeur, à la valeur qu'ils ont comme résultat et résumé de causes antérieures, comme point de départ et cause efficiente d'effets ultérieurs. Dans le tableau que l'historien compose avec les faits, il doit les mettre en perspective et les grouper conformément à leur valeur. Les historiens les plus disposés à nier la possibilité de cette évaluation des valeurs, la pratiquent néanmoins, même s'ils se bornent à être de purs narrateurs. Ils choisissent les faits, les paroles, les traits de caractère les plus expressifs, ceux qui nous révèlent le mieux l'importance des faits et la nature des hommes, car s'ils se contentaient de choisir les plus pittoresques, ils seraient de simples amuseurs, non des historiens. Certes, cette évaluation des valeurs est délicate et sujette à mille causes d'erreurs. C'est là encore un des points où les règles sont insuffisantes, où le talent personnel de chaque historien trouve le plus à s'exercer, où parfois même une sorte d'intuition fait pénétrer plus loin que l'étude et la réflexion ; mais, si considérable que soit dans cette évaluation des valeurs la part laissée à l'appréciation subjective, l'historien doit être constamment sur ses gardes, tenir en bride son imagination et sa sensibilité, ne pas croire que son premier devoir soit de dire du nouveau, tandis qu'il doit, au contraire, confronter constamment sa manière de voir avec celle de ses devanciers.

Cette question de l'appréciation des valeurs est en relation étroite avec le *symbolisme* historique. Quand on veut en histoire pénétrer le sens de l'évolution de l'humanité, comprendre les éléments d'une civilisation, voir, sous les apparences extérieures, les ressorts cachés qui les déterminent, on n'évite pas plus le symbolisme que l'appréciation des valeurs. Le mot de symbolisme est mal vu aujourd'hui parce qu'on en a abusé au temps du romantisme et qu'on lui a donné un sens mystique. On a voulu voir dans les événements de l'histoire les symboles d'idées métaphysiques, la traduction sensible dans le temps et dans l'espace d'une pensée divine. Mais si l'on prend le mot symbole dans son sens littéral, si on y voit simplement l'image matérielle d'un fait spirituel, on reconnaîtra sans peine que dans le monde et dans l'histoire tout est symbole. La figure et les actes d'un homme sont les symboles de son esprit et de son âme. Les monuments et les actes du passé sont les symboles des pensées et des sentiments des hommes qui les ont créés et qui les ont accomplis. Toute histoire qui n'aurait pas pour but d'exprimer une série d'idées par une série d'images et qui ne considérerait pas les faits comme l'expression des besoins, des volontés, des pensées et des passions des hommes serait une histoire bien sèche, bien courte et bien inutile. Le symbolisme d'ailleurs ne doit pas se faire sentir et tourner en procédé et en manie. On tomberait sans cela dans la puérilité, et l'histoire perdrait son caractère de réalité concrète pour devenir une fantasmagorie de lanterne magique. A un certain point de vue tout est symbole, car il y a, dans toutes les choses de

la nature, une si indissoluble concordance qu'une époque se révèle dans les objets usuels les plus ordinaires aussi bien que dans les chefs-d'œuvre de l'art. Les hennins du XIVe siècle sont aussi caractéristiques de l'époque des premiers Valois que les perruques de celle de Louis XIV. Mais si l'usage discret du symbolisme fait pénétrer plus avant dans l'intimité de l'histoire, l'abus du symbolisme est la plus fatigante des affectations.

La psychologie en histoire.

Nous avons dit, au début de cette étude, que le but de l'histoire était de reproduire, dans la mesure du possible, la vie intégrale de l'humanité, et nous venons de dire que le récit des événements historiques devait avoir pour objet de faire connaître la manière de vivre, de penser et de sentir des hommes des diverses époques. Les actes ne sont que des gestes. Ces gestes ne sont intéressants que par la vie intérieure qu'ils traduisent. L'histoire est une psychologie collective.

On a beaucoup discuté sur le but et l'utilité de l'histoire. On en a fait une école de morale et une école de politique, voire même de religion. Je suis convaincu qu'elle peut servir à éclairer la religion, la politique ou la morale ; mais nous n'avons pas à nous occuper ici, à propos de méthode, de ces applications de l'histoire. Le but et l'utilité de l'histoire ne doivent point être cherchés en dehors de l'histoire même. De même que l'histoire naturelle a pour objet de connaître la vie matérielle du globe et de tout ce qui le constitue, l'histoire a pour objet de connaître la vie matérielle et morale de l'humanité.

Si l'on pense que le Γνῶτι σεαὐτον est la chose essentielle pour l'homme, il me paraît bien inutile de discuter sur l'utilité qu'il y a pour l'homme à connaître les autres hommes, ceux d'autrefois comme ceux d'aujourd'hui, ceux de tous les temps et de tous les pays, les états de société par lesquels ils ont passé, ce qu'ils ont fait, pensé, senti, en un mot, l'apport de chaque époque et de chaque peuple au trésor commun de la civilisation. Cette psychologie collective fournit les plus précieuses lumières à la psychologie individuelle, et elle met pour ainsi dire notre esprit au point pour juger tout ce que l'humanité a voulu, désiré et accompli. Elle nous enseigne la relativité de toutes choses et la transformation incessante des croyances, des formes d'art, des institutions, mais aussi la solidarité qui relie entre elles toutes les étapes de ces transformations, l'impossibilité des changements radicaux et brusques. Nous puisons dans cette constatation à la fois la modestie et la modération. Nous ne nous exagérons plus la puissance de l'homme et nous acceptons sans dévotion servile l'héritage des traditions du passé, tout en travaillant aux renouvellements de l'avenir sans impatience révolutionnaire.

Ce point de vue historique s'est emparé si fortement des esprits au XIXe siècle, qu'on l'a appelé le siècle de l'histoire, et que l'histoire est devenue la méthode même à la lueur de laquelle on a étudié toutes les manifestations de l'activité humaine, au lieu de les rapporter à un idéal imaginaire et arbitraire. L'histoire des religions, des philosophies, des littératures, de l'art, du droit, de la politique, ne serait pas possible, si

elle n'était pas mise en rapport avec l'histoire générale de l'évolution humaine, des mœurs, de la civilisation.

On a mis en doute la possibilité de faire intervenir la psychologie dans l'histoire. On a fait remarquer combien nous avons de peine à nous connaître nous-mêmes, à connaître ceux qui nous entourent. Comment alors connaître les personnages du passé sur lesquels nous n'avons que des renseignements épars, souvent contradictoires? Et si la psychologie des individus est incertaine, combien plus celle d'un peuple, celle d'une époque! Oui, cela est malaisé, et pourtant cela seul est vraiment intéressant. Il est des hommes difficiles à connaître et à comprendre; il en est d'autres qu'on peut connaître et juger, dans l'histoire comme autour de nous. Si un Luther peut paraître un problème, l'âme d'un Calvin est facile à définir. Le plus scrupuleux des critiques, M. Ch.-V. Langlois, a fait un portrait de saint Louis. Et il en est de la psychologie collective comme des généralisations historiques : le collectif est à quelques égards plus aisé à saisir que l'individuel et on s'accorde d'ordinaire à concevoir à peu près de même les mœurs, les manières de penser des divers peuples et des diverses époques. Il y a d'ailleurs, précisément dans l'histoire des mœurs, dans les œuvres littéraires et les œuvres d'art, dans les croyances religieuses, dans les principes du droit et les coutumes sociales toute une série de documents positifs qui sont autant d'éléments de cette psychologie collective.

Je dois cependant faire observer que, sur deux points, l'histoire se heurte à de graves difficul-

tés. Si nous observons notre propre vie, nous reconnaissons que notre destinée dépend essentiellement de deux choses : d'un côté les circonstances, qui s'adaptent à nos besoins ou les contrarient, de l'autre notre caractère; il en est de même des collectivités. Le caractère des hommes, caractère individuel ou caractère collectif, doit avoir exercé sur leur destinée collective une influence souvent décisive. Or, si l'on peut connaître à un moment donné les idées des hommes, leurs passions même, leur caractère collectif, leur degré de générosité ou d'égoïsme, d'énergie ou de mollesse, de vanité ou de modestie, est bien difficile à préciser. Et cependant il y a là un des facteurs essentiels de l'histoire. On s'est jusqu'ici peu occupé de le dégager.

Une autre question très ardue est celle que soulève l'action des grands hommes. Sont-ils l'expression de leur temps et de leur milieu, et en sont-ils les conducteurs ou simplement les représentants? Sont-ils grands par la manière éminente dont ils résument à un degré supérieur des tendances ou des qualités générales, ou le sont-ils par ce qu'ils ont de particulier, d'original, de différent? Cette question a recu des solutions diverses. Quelle que soit la part qu'on attribue à l'action originale, inventive et autonome des grands hommes, je crois qu'on ne peut pas les comprendre en dehors de leur milieu et de leur époque et qu'on ne peut considérer leur rôle propre que comme une de ces causes adventices qui ont pu hâter ou retarder une crise, faire dévier un mouvement, donner aux événements une couleur particulière. Aucun d'eux n'est indispensable à la marche générale

de l'humanité. Sans eux, elle se serait continuée par d'autres, avec quelques différences accidentelles, mais dans le même sens.

La philosophie de l'histoire.

D'après tout ce que nous avons dit jusqu'ici, l'histoire nous apparaît comme une biographie et une psychologie de l'humanité. Mais l'homme, qu'il réfléchisse à sa propre destinée ou à celle de ce grand ensemble vivant de l'humanité dont il n'est qu'une partie, ne peut s'empêcher de se poser des questions qui transforment la pure étude historique en spéculation philosophique. Pourquoi existons-nous? D'où sommes-nous venus? Comment vivons-nous? Où allons-nous? Toutes ces questions de raison d'être, d'origine, de condition et de fin se posent invinciblement à notre esprit. La philosophie de l'histoire s'est efforcée d'y répondre.

La philosophie de l'histoire peut être conçue de plusieurs manières différentes. Des historiens et des philosophes ont cherché à comprendre et à expliquer quelle place l'humanité tient dans l'ensemble des choses, à quelle cause suprême se rattache son origine, à quelle fin divine elle tend. Les considérations de cette nature sont du domaine de la religion, de la métaphysique ou de la poésie, et la méthode historique n'y trouve pas son application. Mais on peut se poser ces mêmes questions sans sortir de la réalité terrestre et concrète. Tout en se rendant bien compte que la notion de loi, dans ce qu'elle comporte d'abstrait, de général et d'invariable n'a pas son application dans une science qui n'étudie

que des phénomènes de succession, toujours dissemblables entre eux par quelque côté, on peut tenter de déterminer les facteurs qui ont donné naissance à la société humaine et qui en ont conditionné le développement, ainsi que les tendances générales qui permettent de discerner le but auquel tend ce développement. C'est en effet ce qu'a tenté Vico quand il a cherché comment l'humanité s'est faite elle-même et dans quel ordre invariable se succèdent les formes de société civile et politique ; Herder, quand il a analysé l'action des climats et celle de la raison, de l'imagination et de la sensibilité de l'homme dans la marche de la civilisation; Hégel (à la suite de Kant), quand il a montré la liberté humaine se dégageant des fatalités de la nature pour créer cet état civilisé qui est le but de l'histoire ; Saint-Simon, Auguste Comte, Herbert Spencer lorsqu'ils ont fait de leur loi des trois états, la formule du développement historique ; la plupart des penseurs du XVIIIe et du XIXe siècle quand ils ont identifié l'idée de progrès avec celle de civilisation.

Tous ces efforts pour embrasser dans des formules générales l'ensemble de l'histoire, nous paraissent aujourd'hui, sinon tout à fait chimériques (car ils ont pu mettre en lumière quelques points de vue justes), du moins flottants et vagues ; ils comportent trop d'exceptions, de restrictions, pour expliquer et éclairer vraiment l'évolution historique. L'idée de progrès elle-même, qui est d'une vérité incontestable, puisqu'il n'est pas douteux que l'histoire nous montre la civilisation s'étendant peu à peu à tous les pays et tous les peuples, y apportant

plus de lumières, développant, avec la science, le besoin de liberté, de justice et de bonheur pour tous, est loin de se présenter à nous avec la précision d'une loi ou même de pouvoir nous guider dans l'étude de l'histoire, car la marche du progrès est trop irrégulière, et, dans certains domaines, tels que celui de la moralité ou celui de l'art, la notion du progrès a un caractère très différent de celui qu'elle reçoit dans le domaine de la science.

Les efforts qui ont été faits par Karl Marx et les partisans de son matérialisme historique, à un point de vue plus concret et plus précis, pour expliquer toutes les phases de l'évolution historique par l'action des besoins physiques de l'humanité, la faim et l'attrait des sexes, et en particulier par les nécessités économiques, ont rendu d'incontestables services en donnant pour la première fois leur place, dans l'explication de la marche des événements, à des facteurs trop longtemps négligés; mais ceux qui se sont attachés à ce point de vue ont trop oublié que les facteurs psychiques mis en action par ces besoins matériels deviennent à leur tour des causes, et que, même, aussi loin qu'on puisse remonter dans la société humaine, on trouve des forces psychiques, des idées et des sentiments qui agissent à côté et en dehors des forces matérielles. D'un autre côté, ceux qui ont cru, comme M. Lamprecht et d'autres, déterminer, d'une manière théorique, de quelle manière agit, par leur accord ou par leur lutte, la somme de tous les facteurs matériels, sociaux et psychiques qui s'unissent à un moment de la durée pour se transformer d'une manière continue de période en période, se perdent, malgré

leur science et leur ingéniosité, en vaines logomachies, bien qu'il soit certain que leur point de vue, qu'ils qualifient de *collectif* ou *collectiviste* est juste, et que l'histoire est faite de l'action et de la réaction d'une masse complexe de forces collectives.

La plupart des historiens d'aujourd'hui se défient de la philosophie de l'histoire lorsqu'elle prétend arriver d'emblée à d'aussi ambitieuses synthèses; ils se contentent, comme l'auteur de l'*Essai sur les Mœurs*, qui est en même temps l'inventeur de l'expression *Philosophie de l'Histoire*, « sans prétendre lier le peu de vérités qu'on trouve dans les temps modernes aux chimères de l'antiquité [1] », de dégager les faits essentiels qui sont la base de la vie des sociétés, les caractères des divers peuples, les causes de leur puissance ou de leur faiblesse, des changements dans les mœurs et dans les lois. Si les idées générales qui permettent de mieux comprendre les rapports des choses, leur lien de causalité et leur développement méritent le nom de philosophie, la philosophie de l'histoire peut être considérée comme formant une partie essentielle de la science historique.

Elle se présente à nous sous un double aspect, suivant qu'elle s'occupe de déterminer, par une étude comparative, quels éléments permanents, quelles forces toujours agissantes, matérielles ou spirituelles, constituent la vie des sociétés humaines, et comment elles se combinent pour produire les divers états de civilisation, ou sui-

1. Voltaire. *Mélanges historiques. Fragments sur l'histoire*, X et XI.

vant qu'elle vise, non à abstraire de la diversité des phénomènes ce qu'ils contiennent d'universel et de permanent, mais au contraire à mettre en lumière les principaux caractères particuliers, significatifs, qui sont propres à une époque ou à un pays, qui les distinguent de tous les autres, et qui dominent et commandent toute une série de phénomènes secondaires. D'un côté, nous avons les recherches sociologiques, de l'autre les généralisations historiques proprement dites. La sociologie ne peut être constituée que par une série de recherches et d'analyses historiques, mais elle dégage ses résultats de ce *perpetuum mobile* qui est l'essence même de l'histoire; une fois constituée, elle fournit à l'histoire la trame solide et résistante sur laquelle celle-ci brodera l'infinie variété de la vie individuelle [1]. Mais dans cette variété de la vie, l'esprit humain, pour en comprendre le mouvement et le caractère, devra dégager les faits qui sont particuliers par rapport à l'ensemble de l'histoire, mais généraux par rapport à une partie déterminée de l'espace ou de la durée et qui en régissent un grand nombre d'autres. La sociologie étudiera les élé-

1. Il ne faut pas dire que les sociologues ne s'occupent que des éléments *statiques* dans l'humanité et laissent aux historiens les éléments *dynamiques*, car ils ont à déterminer non seulement les éléments constitutifs des sociétés, mais aussi les conditions générales qui en règlent les variations et les évolutions. D'autre part les historiens ont aussi bien à s'occuper des éléments permanents qui se transmettent dans l'humanité par l'hérédité, la tradition, l'imitation et l'habitude et qui font sa continuité, que des éléments de variation et de nouveauté qu'apporte à chaque moment l'activité créatrice de l'homme, et qui déterminent l'évolution.

ments constitutifs du pouvoir monarchique ou de l'organisation républicaine soit aristocratique, soit démocratique, et les conditions générales qui en règlent l'évolution. L'histoire philosophique montrera comment la royauté a été pendant des siècles la force politique et sociale qui a fait la France et a créé cette centralisation qui la rend si différente de toutes les autres nations, tandis que toute la civilisation italienne du moyen âge a été une civilisation urbaine morcelée à l'infini, la civilisation allemande une civilisation féodale et fédérative, etc. La sociologie indiquera les conditions sociales qui constituent l'esclavage, le servage, le salariat moderne, ou qui les font disparaître. L'historien philosophe étudiera les caractères de l'esclavage grec ou romain, les causes générales qui ont transformé l'esclavage en servage, la révolution que le machinisme a produite dans la condition des ouvriers, etc. On pourra légitimement considérer comme des fragments d'une philosophie de l'histoire des études sur les caractères essentiels de la civilisation du moyen âge, ou de la Renaissance, ou de la Révolution française. Mais ces études ne seront utiles qu'en restant très précises, très concrètes, en circonscrivant avec netteté la période sur laquelle elles opèrent, en n'oubliant jamais que les résultats obtenus ne peuvent avoir qu'une vérité partielle.

Exposition historique.
Les résultats du travail historique.

Nous n'avons pas à prescrire de règles sur la manière dont doivent être présentés au lecteur les

résultats des recherches historiques. La forme des œuvres d'histoire varie avec leur nature, et leurs auteurs. Un ouvrage sur les institutions n'aura pas le même caractère qu'un livre sur la civilisation d'une époque ou l'histoire d'un règne. Les seules règles générales qu'on ait le droit de formuler sont le devoir d'indiquer les sources où l'on a puisé; de fournir autant que possible la preuve de ce qu'on avance, et de distinguer nettement les résultats qu'on considère comme certains de ceux sur lesquels plane une incertitude. Le reste est laissé au talent personnel de l'écrivain, et il n'est pas indifférent que l'historien ait en même temps qu'un esprit critique pénétrant, une sensibilité vive, une imagination forte et le don du style. L'historien n'aura accompli que la moitié de sa tâche s'il a seulement réuni et classé les matériaux dont la réalité historique a été faite. Pour faire comprendre cette réalité, il faut qu'il lui donne la vie. Pour faire revivre les hommes, ressusciter le passé, ce qui est le but suprême de l'histoire, il est nécessaire d'associer à la science cet élément personnel qui se trouve dans toute œuvre d'art. De même que le peintre, qui doit reproduire la réalité objective sur la toile, ne la voit qu'à travers son tempérament et en donne une idée d'autant plus forte et plus vraie qu'il aura créé une œuvre plus personnelle et plus originale, l'historien, après avoir étudié le passé en savant, doit, pour le faire comprendre et le décrire, faire un effort de création personnelle et ajouter l'art à la science. Il le recrée en quelque mesure en lui-même. La science décompose les éléments de la vie. L'art seul la recrée.

L'élément subjectif et individuel qui pénètre

ainsi dans les compositions historiques ajoute évidemment à la réalité quelque chose qui échappe à la critique et qui dépasse la réalité objective. Mais ces efforts du génie individuel des historiens pour discerner la vérité à travers les voiles dont l'enveloppe l'insuffisance ou l'obscurité des documents, ne sont pas inutiles. Ils se corrigent les uns les autres, et de Niebuhr à Michelet, de Michelet à Mommsen, de Mommsen à Ferrero, la réalité se dégage peu à peu plus claire, plus saisissable, avec des traits que recueille l'assentiment commun des savants. On est tenté parfois, quand on voit les historiens reprendre sans cesse les mêmes sujets, critiquer les mêmes textes, élever des doutes sur des faits qui semblaient acquis et certains, de croire que l'histoire est une toile de Pénélope, qu'il n'y a de réel dans l'histoire que l'idée que nous nous en faisons, que les travaux des historiens ne sont que l'exposé de leurs vues subjectives, le récit d'une des manières dont les choses auraient pu se passer. L'histoire ne serait, comme on l'a dit, qu'une pauvre petite science conjecturale, la plus incertaine des sciences inexactes. Pour peu qu'on se donne la peine d'examiner les ouvrages de critique ou d'exposition historiques qui ont été composés depuis un siècle, les progrès accomplis par la science historique frappent l'esprit le plus prévenu et le plus sceptique. Non seulement d'immenses domaines nouveaux ont été acquis à l'histoire, non seulement une foule d'erreurs traditionnelles ont été définitivement réfutées et chassées de la science, non seulement l'accord se fait peu à peu entre les savants sur un grand nombre de ques-

tions longtemps controversées, mais surtout le coloris banal, uniforme et solennel qui jadis recouvrait toute l'histoire, ornée de décors et de costumes conventionnels, a fait place à une intelligence délicate et exacte du caractère propre des époques et des pays divers, à la reproduction vraie de l'aspect extérieur et aussi de l'esprit intime de chaque civilisation. D'année en année, l'intelligence du passé va se précisant et s'affinant; et à mesure que les lignes principales de ce passé apparaissent avec plus de clarté aux yeux de tous, les historiens peuvent entreprendre des investigations nouvelles qui, sans modifier l'ensemble de la construction historique, y ajoutent des détails nouveaux, en corrigent quelques imperfections, lui donnent une netteté de plus en plus grande, une couleur toujours plus harmonieuse et plus juste.

Gabriel Monod,
de l'Institut,
Chargé de cours au Collège de France.

MÉCANIQUE

LA GENÈSE DE LA MÉCANIQUE ET SON INFLUENCE SUR LES AUTRES SCIENCES

La mécanique a joué dans le développement de la science un rôle prépondérant. La science d'Aristote, comme celle des Scholastiques qui en dérive, était presque exclusivement *qualitative* et *descriptive :* la science d'aujourd'hui est une science qui *mesure* et qui *prédit*, et c'est grâce à la mécanique qu'elle a acquis ces deux caractères essentiels.

Pour expliquer cette influence de la mécanique, il ne suffit pas, ainsi qu'on le fait souvent, de la définir comme l'étude raisonnée des phénomènes du mouvement. Car il n'y a pas de science, même embryonnaire, fût-ce une classification empirique, où la raison n'intervienne. Mais n'est-il pas évident qu'il existe un abîme entre le raisonnement intuitif et vague qui, par exemple, nous fait considérer la fonction de l'intestin comme un prolongement de celle de l'estomac, et le calcul rigoureux qui nous permet de prévoir avec une erreur presque inappréciable, la configuration du système solaire dans

trois cents ans? Précisons donc les caractères propres de la mécanique.

Tout d'abord, la mécanique sait mesurer les phénomènes du mouvement : autrement dit, si complexes que soient leurs apparences, quels que soient les aspects qualitatifs qu'ils revêtent, qu'il s'agisse de la figure changeante d'un nuage, d'une chute d'eau, des déformations et des résistances d'un solide élastique, la mécanique sait définir entièrement *à l'aide de nombres* ces mouvements, ces résistances, ces déformations.

D'autre part, la mécanique est plus qu'une science descriptive : elle ne se borne pas à enregistrer les mouvements des corps matériels ; elle recherche les *causes* de ces mouvements et les lois suivant lesquelles ces causes les engendrent. Connaissant les conditions initiales d'un système matériel et les lois auxquelles obéissent les influences mutuelles des corps de ce système, elle nous apprend à calculer le mouvement ultérieur de ces corps. La mécanique est donc essentiellement une science qui sait prédire.

« Savoir, c'est pouvoir », dit l'antique adage. Cet adage pourrait se développer ainsi : « Savoir c'est être capable de prédire, et être capable de prédire, c'est pouvoir. » Car l'homme qui connaît d'avance les effets qu'engendrent des conditions initiales quelconques, n'a plus qu'à réaliser les conditions initiales dont les effets seront conformes à ses desseins. C'est pourquoi d'innombrables applications ont accompagné constamment les progrès théoriques de la mécanique.

Quant à l'influence de la mécanique sur le développement des autres sciences, il n'est pas difficile d'en apercevoir les raisons.

Et d'abord, les phénomènes du mouvement ou de l'équilibre interviennent toujours et partout, qu'ils se manifestent seuls ou qu'ils s'accompagnent d'autres phénomènes plus complexes (électriques, chimiques, etc.). La mécanique est donc la base nécessaire des autres sciences, au moins dès que celles-ci veulent être suffisamment précises.

De plus, la mécanique est la première application du raisonnement, et notamment du raisonnement mathématique, à l'étude *quantitative* et *causale* des phénomènes naturels. Il lui fallait donc, pour se constituer, apprendre à mesurer les phénomènes du mouvement, préciser quantitativement, pour ces phénomènes, le principe de causalité et les conditions dites initiales; en un mot, il lui fallait créer, une fois pour toutes, la méthode qui permet à une science de passer de l'étude qualitative et descriptive des faits qu'elle embrasse à leur étude quantitative et causale. Base des autres sciences, la mécanique devait donc aussi leur servir de modèle.

Ce n'est pas tout : la mécanique de Galilée et de Newton avait éclairé tant de problèmes longtemps obscurs, que les savants ne se sont pas contentés d'imiter sa méthode dans l'étude de la chaleur, de l'électricité, de la chimie, etc. Ils ont cherché une explication mécanique de tous ces phénomènes. Malgré leur caractère hypothétique, ces représentations mécaniques de l'univers, — qu'elles emploient les atomes ou les milieux continus, ou ces deux concepts de la matière, — ont contribué, au moins autant que l'expérience directe, aux progrès des sciences physiques.

Il ne faut pas croire, d'ailleurs, que ce soit un hasard historique qui ait donné à la mécanique cette prépondérance. Parmi tous les phénomènes, ceux qui sont le moins difficiles à mesurer, c'est-à-dire à définir complètement avec des nombres, sont évidemment les phénomènes du mouvement : c'est donc la mécanique qui devait, la première de toutes les sciences, revêtir la forme quantitative. Mais d'autre part, en vertu même du caractère plus abstrait et presque géométrique des phénomènes qu'elle étudie, elle devait végéter tant qu'elle n'était pas en état de revêtir cette forme. Qu'on se représente un phénomène chimique, la combustion d'une allumette, par exemple : nous n'avons besoin que de nos sens pour constater ses phases, et nous savons que les mêmes phases se succèderont chaque fois que nous recommencerons l'expérience. Mais suivons un projectile lancé dans l'air ; que pourrons-nous dire de précis sur ce mouvement, si nous ne savons ni l'enregistrer, ni l'analyser au cas où nous l'aurions enregistré ? On conçoit donc que le développement de la mécanique ait été à la fois si tardif et si prodigieusement rapide une fois commencé, et que, maîtresse de sa méthode, elle ait aussitôt pris le pas sur les autres sciences, même sur celles qui, comme l'alchimie au moyen âge, semblaient la devancer.

Ces considérations suffisent à faire concevoir l'intérêt que présente, pour le philosophe comme pour le savant, la genèse de la mécanique. C'est le type des sciences modernes, l'idéal sur lequel elles doivent se modeler. De l'exactitude de ses axiomes dépend celle de toute la science.

Par quelle méthode la mécanique a-t-elle

adapté les sciences rationnelles à l'étude des mouvements? Quelles difficultés a-t-elle dû surmonter? Comment a-t-elle dégagé ses axiomes de la trame enchevêtrée des phénomènes? Ce sont là les questions que je voudrais traiter dans ces quelques pages.

LA MÉCANIQUE ET LA GÉOMÉTRIE

Je viens de parler de sciences rationnelles. Est-ce à dire qu'il y ait une différence essentielle entre ces sciences et la mécanique? En aucune façon.

C'est une vérité incontestée aujourd'hui qu'il n'existe pas de sciences rationnelles, au sens strict du mot : aucune science ne saurait se fonder sans emprunter à notre perception du monde extérieur quelques notions indéfinissables. Les sciences abstraites par excellence, l'arithmétique et l'analyse qui en dérive, reposent sur les notions de nombre et de somme de deux nombres. Si intuitives qu'elles nous paraissent, ces notions n'en ont pas moins une origine expérimentale; c'est lentement qu'elles se sont formées en nous et parce que nos sensations forment des groupes séparés. Des êtres qui vivraient dans un milieu continu pour leurs sens, n'auraient aucune idée d'unités distinctes, ni par suite de nombre.

Les origines expérimentales de la géométrie sont plus évidentes encore. Ses axiomes sur les figures invariables énoncent sous une forme épurée les propriétés de forme des solides matériels.

Mais si la géométrie est une science expéri-

mentale au même titre que la mécanique, comment s'expliquer que leurs développements aient été historiquement si différents? Pourquoi possédons-nous d'instinct les axiomes de la géométrie, à tel point qu'une véritable dislocation intellectuelle nous est nécessaire pour les mettre en doute, tandis que les axiomes de la mécanique donnaient lieu encore, il y a deux siècles et demi, aux controverses les plus passionnées, qu'ils demeurent ignorés aujourd'hui de la plupart des hommes, et sont souvent incompris de ceux-là mêmes qui les emploient ?

L'explication, c'est que les vérités géométriques dérivent de nos contacts quotidiens avec les solides matériels, qu'elles s'imposent à nous de par les propriétés toujours les mêmes de ces corps, au fur à mesure que nous prenons conscience du monde extérieur. De même que la terre a une carcasse solide, notre conception de l'univers a une ossature : la géométrie.

Au contraire, le mouvement est, par sa nature même, changeant et presque insaisissable. Il fuit, en gardant ses secrets : nous devons les deviner au vol. Pour noter ses apparents caprices, nos sens ne suffisent plus : il faut une technique expérimentale, et cette technique elle-même ne suffit pas ; quand on a observé avec précision le mouvement d'un corps réel, il faut encore l'*analyser*, j'entends déduire du phénomène intégral le phénomène élémentaire, le changement infinitésimal qui seul obéit à des lois simples, et dont la répétition et la combinaison indéfinie engendrent les phénomènes les plus complexes. Imaginons par exemple un photographe qui sache chronophotographier le mouvement d'une bille lancée

dans le vide. A quoi lui servira son habileté technique s'il n'a aucune connaissance mathématique, s'il est incapable de mesurer sur son cliché la vitesse du projectile, les variations de cette vitesse, etc. Il pourra enregistrer mille fois le mouvement de la bille; il ne parviendra jamais aux lois de la chute des corps. — Bien loin de s'imposer à nos sens comme les propriétés des solides, les lois fondamentales des mouvements ne pouvaient être décelées que par une technique expérimentale et une technique mathématique déjà savantes.

Mais, dira-t-on, si les remarques précédentes s'appliquent à la dynamique, science du mouvement, la statique, science de l'équilibre, leur échappe. — C'est là précisément ce qui explique pourquoi la statique, comme la géométrie, est une science ancienne, et la dynamique une science moderne. La théorie de l'équilibre du levier, l'hydrostatique, telles que les expose Archimède, sont des chapitres impeccables de la mécanique. Mais bien que la statique soit comme la géométrie, une science, si j'ose dire, de tout repos, il n'en existe pas moins entre ces deux sciences une différence de nature ; quand un système de points matériels forme une figure invariable, la géométrie étudie les propriétés de cette figure, sans s'occuper des causes qui maintiennent invariables les distances de ces points, sans rechercher les conditions nécessaires et suffisantes pour que cet équilibre relatif subsiste. Ce sont ces causes et ces conditions qui font l'objet exclusif de la statique. Cette science suppose donc la géométrie ; elle ne pouvait être créée qu'après elle, mais elle n'exigeait point des méthodes

d'observation et de raisonnement plus perfectionnées.

Il convient d'ajouter que la statique, isolée de la dynamique, est une science nécessairement incomplète et stérile, une branche d'arbre séparée du tronc. L'hydrostatique d'Archimède nous enseigne que la surface libre de l'eau dans un vase doit être horizontale ; elle pourrait nous expliquer la forme générale de la surface d'équilibre des mers, mais elle serait incapable de nous rendre compte des perturbations périodiques (marées) que subit cet équilibre.

C'est la dynamique qui devait être réellement féconde et par ses conclusions directes et par les analogies qu'elle suggérait. La mécanique ne pouvait jouer son rôle de science-guide qu'une fois constituée intégralement.

L'habitude est de dire que la mécanique moderne est née le jour où la méthode expérimentale détrôna les méthodes *a priori* des scholastiques. Ceux-ci ratiocinaient sans observer ; Galilée laissa tomber des balles de plomb du haut de la tour de Pise, fit glisser des corps pesants sur un plan incliné, regarda osciller une lampe dans la cathédrale de Florence, et la dynamique fut fondée ! — Sous cette forme brutale, l'historique n'est rien moins qu'exact. Ce sont des idées *a priori*, j'entends précédant toute expérience scientifique, qui au moins autant que l'expérience ont guidé les créateurs de la mécanique, et ces idées étaient très voisines des idées scholastiques. Elles n'en différaient que par la modification, essentielle il est vrai, apportée par Copernic et son école au principe de l'inertie tel que l'entendaient les scholastiques. C'est donc à

l'école de Copernic qu'il faut faire remonter la genèse de la mécanique moderne ; Galilée, Képler et Newton n'ont fait que développer, de toute la puissance de leur génie, les idées coperniciennes, et ce sont ces idées qui leur ont permis de déduire des expériences rudimentaires de Galilée et des observations astronomiques de Tycho-Brahé, toute la dynamique.

Quelle était donc la pensée de fond des Coperniciens? C'était de soumettre rigoureusement au principe de causalité les phénomènes du mouvement. Mais les scholastiques avaient la même prétention. Où était le point de divergence des deux écoles? C'est ce qu'il s'agit de préciser.

LE PRINCIPE DE CAUSALITÉ ET LES MESURES DE LONGUEUR ET DE TEMPS

Le principe de causalité est la base de toute science. Il est lié indissolublement à notre affirmation de l'existence objective du monde extérieur. Ce principe, les hommes et les animaux le possèdent et l'emploient d'instinct dans tous les actes quotidiens de leur vie. Le proverbe vulgaire « Chat échaudé craint l'eau même froide » exprime que le chat est capable d'une application même excessive du principe de causalité.

L'énoncé général le plus précis du principe est le suivant :

« Lorsque les mêmes conditions sont réalisées, « à deux instants différents, en deux lieux diffé- « rents de l'espace, les mêmes phénomènes se « reproduisent transportés seulement dans l'es- « pace et le temps. »

Par exemple, quand on met 1 gramme de zinc en copeaux dans un litre de vitriol, un jour quelconque, à Paris ou à Versailles, les conditions de température et de pression étant les mêmes, le gramme de zinc mettra le même temps à se dissoudre et donnera le même sel.

De même, si à deux instants différents, en deux lieux quelconques, on plonge la même barre de platine dans l'eau à 100° et si on mesure sa longueur, on constate que cette longueur est la même dans les deux cas.

Au principe de causalité se rattache un corollaire qu'on peut appeler le *corollaire de la symétrie* et qui s'énonce ainsi : « La symétrie des causes subsiste dans les effets. »

Le principe de causalité serait d'ailleurs inefficace si, en l'appliquant, nous ne le complétions implicitement par l'addition suivante : « Un corps « matériel donné influe d'autant moins sur les « mouvements et transformations d'un autre « corps qu'il en est plus éloigné. »

S'il n'en était pas ainsi, le principe de causalité pourrait être vrai, nous n'aurions aucun moyen ni de le vérifier ni de l'utiliser. L'univers entier interviendrait dans les conditions de n'importe quel phénomène. Si le précipité qui se forme à Paris dans telle réaction, était rouge ou bleu suivant qu'il pleut ou non au Cap ou que Sirius se réchauffe ou se refroidit, la chimie n'existerait pas.

Dans les applications du principe, il est donc toujours sous-entendu qu'on néglige les corps très lointains. L'erreur commise en négligeant ainsi un corps déterminé, sera d'autant plus faible que ce corps sera plus éloigné.

Le principe de causalité suppose qu'on sache mesurer les longueurs et le temps. Comment les mesurerons-nous ?

Une première réponse vient à l'esprit : Ce sont les longueurs et le temps *absolus* qui interviennent dans le principe de causalité et que, par suite, il faut mesurer.

Mais en admettant que les notions de longueur absolue et de temps absolu aient un sens, la nature ne nous a pas mis en main un étalon de longueur et une horloge idéale, en nous garantissant l'invariabilité de l'étalon et la régularité de l'horloge. Nous ne pouvons que comparer entre elles des longueurs (ou des durées) dont aucune à l'avance n'est privilégiée. Entre deux tiges dont l'une s'allonge par rapport à l'autre, pourquoi est-ce la seconde, par exemple, que nous regardons comme invariable, et point la première ? Entre deux horloges qui ne s'accordent pas, dont l'une, par exemple, gagne sur l'autre une minute dans la première heure, trois minutes dans la seconde, etc., pourquoi préférer l'une à l'autre ?

Dira-t-on qu'il suffit d'adopter *une fois pour toutes* une tige matérielle avec laquelle on mesurera les longueurs, et une horloge quelconque avec laquelle on mesurera le temps, sans s'inquiéter de savoir si la longueur de la tige reste invariable, si l'horloge est bien réglée, ni même si ces questions ont un sens ? Mais il est bien évident que cette réponse est inadmissible. En fait, nos expériences vérifient le principe de causalité quand nous mesurons les distances et les durées à la façon ordinaire, à l'aide du mètre et de l'horloge *sidé-*

rale[1]. Mais imaginons que nous remplacions notre horloge sidérale par une horloge qui marche de plus en plus vite relativement à la première : le principe de causalité va-t-il se vérifier encore ? Non pas : une réaction chimique, par exemple, qui, répétée dans les mêmes conditions, gardait, avec notre premier système de mesures une durée invariable, nous apparaîtrait avec nos nouvelles mesures comme plus lente à chaque expérience nouvelle. Des remarques analogues s'appliquent à la mesure des longueurs.

Si donc le principe de causalité est vrai, il n'est vrai qu'à la condition de mesurer convenablement les longueurs et le temps.

Il suit de là que l'énoncé positif du principe est le suivant :

« *Il est possible d'adopter une fois pour toutes* « *et pour tous les phénomènes une mesure des lon-* « *gueurs et une mesure du temps telle que le* « *principe de causalité soit vrai toujours et par-* « *tout.* »

Voilà le principe, ou si on veut, le postulat fondamental qui est inscrit en tête de la science. Une fois accepté, il nous *impose* une mesure des longueurs et une mesure du temps. C'est là une conséquence qu'il importe de bien comprendre.

Admettons que nous sachions mesurer les longueurs et le temps de manière que le principe de causalité soit rigoureusement vérifié : il nous est évidemment loisible de remplacer l'unité de longueur par une autre longueur qui soit avec elle dans un rapport *constant*, de remplacer

1. Horloge réglée sur le mouvement diurne apparent des étoiles, c'est-à-dire sur la rotation de la terre.

l'unité de temps par une autre durée dix fois plus longue par exemple, ou cent fois plus courte. Le principe de causalité est encore vérifié, du moment je le répète que les nouvelles unités sont dans un *rapport constant* avec les premières. On dira, dans ce cas, qu'on change d'unités dans *le même système de mesures*.

Mais remplaçons les unités par de nouvelles unités qui soient avec les premières dans un rapport *variable :* le principe de causalité n'est plus vérifié.

Il ne peut donc exister deux systèmes de mesures distincts répondant au principe de causalité. Le postulat, c'est qu'il en existe un : nous l'appellerons système de mesures *absolues*.

Comment le déterminer?

LES UNITÉS ABSOLUES DE LONGUEUR ET DE TEMPS

Dans l'état actuel de nos mesures, le principe de causalité est bien vérifié quand on mesure les longueurs et les temps à l'aide du *mètre étalon*[1] et de l'horloge sidérale.

Le mètre étalon et le jour sidéral sont donc des unités absolues, à une erreur imperceptible près (j'entends imperceptible pour notre technique expérimentale). Mais il est bien évident (nos mesures actuelles n'atteignant pas le centmillionnième de millimètre) qu'il nous serait loisible de remplacer le mètre étalon par une tige dont la longueur évaluée en mètres varie

1. Le *mètre étalon* est la longueur d'une certaine règle de platine déposée aux archives, quand cette règle est placée dans la glace fondante.

rait arbitrairement entre un mètre et un mètre $+ \frac{1}{100.000.000}$ de millimètre. Une remarque analogue s'applique à l'unité de temps.

Les faibles erreurs que comporte aujourd'hui la technique expérimentale nous laissent indécis entre une infinité de systèmes de mesures très peu différents. Chaque perfectionnement apporté à cette technique restreindra cette indétermination. Il faut donc bien distinguer entre l'affirmation absolue du principe de causalité et la détermination, essentiellement provisoire et perfectible, du système de mesures qui répond à ce principe.

Les perfectionnements déjà apportés au choix des unités de longueur et de temps et ceux qu'elles recevront encore, ne doivent nullement être invoqués contre la rigueur du principe de causalité. Ce sont au contraire des conséquences inévitables de ce principe, et ils ne visent à rien d'autre qu'à le vérifier plus exactement, au fur et à mesure que nos expériences savent être plus précises.

Il convient de remarquer que les raisons qui, à l'origine de la civilisation, ont fait adopter les premières mesures de longueur et de temps sont, sous une forme presque inconsciente, les mêmes que celles que je viens d'exposer.

Comment s'est imposée, en effet, la première unité de longueur? Par les contacts permanents de nos sens avec les corps impénétrables et résistants que nous appelons *solides*. Ces corps possèdent une propriété caractéristique : c'est que (moyennant quelques précautions) deux quelconques d'entre eux gardent les mêmes

dimensions relatives quels que soient le lieu et l'instant où on les compare.

L'écorce terrestre, un morceau de bois ou de métal sont des solides. Deux pièces de métal placées toutes deux dans la glace conservent les mêmes dimensions relatives.

Ceci posé, imaginons un homme qui n'ait encore aucune idée de la géométrie. Il sera induit à penser que ces corps, si divers et soumis à des influences si diverses, dont les formes et dimensions *relatives* ne changent pas, gardent les mêmes dimensions *absolues*. Car si les innombrables solides se déformaient, chacun d'eux se déformerait suivant sa loi propre qui dépendrait des influences auxquelles il est soumis, et il serait invraisemblable que les dimensions comparées des divers solides restassent justement dans le même rapport.

Que cette induction soit fondée ou non, notre observateur pourra toujours étudier empiriquement les propriétés de forme d'un solide : s'il en fixe deux points (les gonds d'une porte, par exemple), il constate que le solide peut occuper une infinité de positions, et que dans ces diverses positions toute une file d'éléments du solide demeure immobile (la rainure de la porte). S'il appelle *droite* ou règle cette file d'éléments ainsi définie, il peut réaliser de cette manière autant de droites matérielles qu'il lui plaît. S'il assemble bout à bout trois de ces règles, il forme un triangle dont il peut mesurer les angles, etc. Il constate que les rayons lumineux dans un air pur suivent une ligne droite : d'où un moyen d'étudier sur une bien plus grande échelle les propriétés des triangles. S'il essaie de résumer en quel-

ques formules générales ses observations, il énoncera sur les solides, les droites et les triangles matériels un certain nombre de propositions qui expriment précisément les propriétés attribuées par Euclide aux figures invariables, aux droites et aux triangles géométriques. C'est ainsi que les premiers arpenteurs ont fondé la géométrie. En particulier, on pourra mesurer, à l'aide d'une règle, la distance de deux éléments matériels par le procédé même qu'indique la géométrie pour mesurer la distance de deux points à l'aide d'un segment de droite pris comme unité. Les rayons lumineux permettront de mesurer les longueurs considérables ou inaccessibles. D'une manière générale, chaque théorème de la géométrie euclidienne traduira une propriété des solides matériels.

Disons maintenant quelques mots de *la mesure du temps*.

Nous ne pouvons que comparer les durées de phénomènes *simultanés*. Mais parmi tous les phénomènes il en est de nombreux qui nous apparaissent comme pouvant être répétés facilement et indéfiniment dans des conditions semblables. Considérons, par exemple, en un lieu de la terre, la chute de sable d'un sablier, les oscillations (d'amplitude donnée) d'un pendule, l'écoulement de l'eau d'un réservoir dont le niveau est maintenu constant, la dissolution d'un gramme de zinc dans un litre de vitriol, etc. Répétons indéfiniment ces expériences et comparons leurs durées entre elles, ou avec le mouvement diurne des étoiles : nous constatons que ces durées restent dans le même rapport, et dans un rapport constant avec la rotation apparente

des étoiles. D'une façon précise, si l'oscillation du pendule, par exemple, s'est répétée 500 fois pendant que notre sablier se vidait une fois, que le réservoir perdait 8 centilitres d'eau, que la sphère céleste tournait de 2 degrés; il en sera de même encore chaque fois qu'on recommencera ces expériences.

Par une induction analogue à celle que nous avons faite pour les solides, nous sommes amenés à penser que ces phénomènes si divers, dont les durées *relatives* ne varient pas, gardent une durée *absolue* invariable. D'où l'idée de mesurer le temps à l'aide de ces phénomènes et notamment du mouvement diurne des étoiles, c'est-à-dire à l'aide de l'horloge sidérale.

Il est bien évident qu'il n'y a pas d'absurdité *logique* à mesurer les longueurs à l'aide d'une tige dont la longueur varie par rapport au mètre étalon, ou le temps à l'aide d'une durée variable par rapport au jour sidéral. Mais que je mesure, par exemple, le temps par les battements de mon cœur : tous les phénomènes de l'univers, les phénomènes chimiques, les oscillations du pendule, la rotation de la terre, etc., sembleront se ralentir sur le même rythme chaque fois que je monterai un escalier. De même, tous les solides de l'univers, l'écorce terrestre, etc., sembleront se contracter *de la même manière* si la règle que je prends comme mètre s'allonge par rapport au mètre étalon.

L'idée de bon sens qui a dirigé les premières mesures et qui intervient dans toutes les mesures scientifiques peut se préciser ainsi. Quand de multiples phénomènes sans lien apparent nous semblent présenter un caractère commun, par

exemple le même rythme, deux hypothèses sont possibles : ou bien leurs causes comprennent une cause commune qui nous échappe; ou bien ce caractère commun n'est qu'une apparence qui résulte de notre procédé d'observation ou de mesure. Quand la première hypothèse est inadmissible (notamment quand les phénomènes en question sont trop nombreux et trop séparés pour comporter entre eux aucun lien), c'est la seconde hypothèse qui s'impose. Si, par exemple, entrant dans une chambre à la fin du jour, j'aperçois par une vitre toute la campagne rose, je peux croire ou que le coucher du soleil ou que la vitre est rose. Si toute la campagne m'apparaît bleue, je suis sûr que c'est la vitre qui est bleue.

Pour ce qui est des perfectionnements successifs apportés aux unités fondamentales de longueur et de temps, il importe tout d'abord de remarquer que *quantitativement* ils sont très petits, et que toutes les corrections ultérieures seront de plus en plus subtiles. Si on comparait les dimensions d'un champ mesurées par les Chaldéens ou par nos géodésiens les plus raffinés, la différence serait bien faible. Quant aux idées qui ont inspiré ces perfectionnements, elles sont exactement les mêmes que celles qui ont inspiré les premières mesures. Les raisons qu'invoquent nos congrès internationaux pour choisir telles unités absolues ne diffèrent pas de celles qui hantaient obscurément les cerveaux des premiers arpenteurs; elles sont simplement plus conscientes et mieux dégagées de l'instinct. Elles ne nous expliquent pas seulement les perfectionnements passés : elles nous permettent de prévoir les modifications qui,

vraisemblablement, seront apportées avant un siècle à nos modernes unités.

Quand elle créait le système métrique, la Convention regardait comme invariable un méridien de la terre, et définissait le mètre comme la 40.000.000e partie de ce méridien ; à ce mètre, on a substitué aujourd'hui le mètre étalon, et on parle de la contraction de la terre causée par son refroidissement. Le mètre étalon lui-même sera bientôt détrôné. Deux mètres en platine construits avec des soins minutieux par le bureau international des poids et mesures ont aujourd'hui la même longueur : dans un siècle, ils auront subi des déformations permanentes et leurs longueurs différeront d'une quantité que la technique future saura apprécier malgré sa petitesse. Entre les deux mètres, quel sera le bon, et pourquoi adopter l'un plutôt que l'autre? La longueur d'onde d'une radiation lumineuse déterminée nous apparaît comme étant de nature plus constante que le mètre étalon, et c'est une telle longueur (ou un de ses multiples) qui est destinée à être la prochaine unité.

De même, le principe de causalité, précisé (comme nous allons l'expliquer) pour les phénomènes du mouvement, conduit à cette conclusion que la rotation de la terre se ralentit imperceptiblement sous l'influence des marées. La durée d'une ondulation lumineuse correspondant à une radiation déterminée (ou quelque durée déduite d'un phénomène électrique *constant*) sera vraisemblablement la prochaine unité de temps. On constatera alors que le jour sidéral est plus long d'une seconde par exemple dans quelques siècles.

Ces corrections minuscules ne modifieront d'ailleurs en rien les lignes de l'édifice scientifique, tant que le principe de causalité sera maintenu. Il en serait tout autrement si le principe lui-même devait être abandonné. Imaginons que l'avenir impose la conclusion suivante : des divergences petites, mais supérieures aux erreurs de mesures, existent entre les conséquences de ce principe et nos expériences, et ces divergences ne sauraient être effacées par aucune modification des unités de longueur et de temps. Alors, toutes nos conceptions crouleraient : la science ne serait plus capable que d'enfermer les phénomènes entre deux limites, très rapprochées il est vrai mais qu'elle ne saurait franchir, et dans cette étroite bande qui lui serait à jamais interdite, les phénomènes échapperaient à toute causalité. Le développement de la science n'a fait d'ailleurs qu'accentuer l'invraisemblance de cette hypothèse.

Peut-être trouvera-t-on que j'ai trop insisté sur des idées si évidentes et si étroitement mêlées à notre perception du monde extérieur que la difficulté est non de les comprendre, mais de ces analyser et de les critiquer. Ce sont pourtant ces mêmes idées qui ont guidé les fondateurs de la Mécanique.

Relativité des mouvements observés.

La pensée maîtresse des Coperniciens, c'était, comme nous l'avons dit, de soumettre au principe de causalité les phénomènes du mouvement. Mais une difficulté se présentait tout d'abord qu'on ne rencontrait pas dans l'observation des phénomènes tels que les phénomènes

chimiques, calorifiques, lumineux, plus complexes et plus riches d'apparences sensibles que ceux du mouvement. Qu'on répète une réaction chimique dans une chambre ou dans une voiture en mouvement, les apparences qu'enregistreront nos sens seront les mêmes. Mais observons la chute de la pluie dans un air calme : elle nous paraît verticale ou oblique suivant que nous sommes enfermés dans une chambre ou dans une voiture qui roule, c'est-à-dire suivant que nous rapportons le mouvement des gouttes d'eau à la terre ou à la voiture qui nous emporte. Au plafond de la voiture attachons un pendule : les mouvements et l'équilibre de ce pendule sont tout différents suivant que la voiture est immobile ou qu'elle s'ébranle. Pour soumettre ces mouvements au principe de causalité, est-ce à la terre qu'il faut les rapporter, ou aux parois de la voiture, ou à d'autres repères ?

On ne saurait trop insister sur cette *relativité* des mouvements observés. Imaginons, par exemple, une hirondelle qui vole en ligne droite par rapport à la terre, et un aéronaute dont le ballon tournoie au milieu d'une nuée et qui distingue cette hirondelle et rien d'autre : pour l'aéronaute, l'hirondelle tournoiera dans l'espace et décrira une sorte de spirale dont chaque spire correspondra à un tour du ballon sur lui-même.

En un mot, le mouvement d'un corps matériel n'est déterminé que si nous disons *à quoi* nous rapportons ce mouvement. Une fois choisis les *repères* que nous regardons comme fixes, la manière la plus précise et la plus simple de représenter le mouvement du corps consiste à

introduire ce que les mathématiciens nomment des *axes*. Supposons que nous rapportions les mouvements à la terre ; il nous est loisible de choisir trois plans rectangulaires invariablement liés au sol, soit le plancher d'une salle et deux de ses murs verticaux ; à un instant donné, la position d'un élément matériel sera déterminée si on connaît la distance de cet élément à chacun de ces trois plans. Ces trois plans forment un trièdre (à arêtes rectangulaires) qu'on appelle *trièdre de référence* ou trièdre des axes.

De même, si on rapporte les mouvements à la cage d'une voiture, on pourra choisir comme trièdre de référence le trièdre formé par le plancher de cette cage et deux de ses parois verticales.

Nous dirons, dans ce qui suit, qu'on a défini un repérage des mouvements quand on a choisi les repères regardés comme fixes, ou, si on veut, un trièdre de référence auquel on rapporte à chaque instant la position de tous les éléments matériels.

LA MÉCANIQUE DE COPERNIC ET DE GALILÉE

Les Coperniciens n'ignoraient point que nos observations et nos mesures sont relatives et ne font que comparer entre elles des durées, des longueurs et des positions d'objets.

Mais de même qu'ils admettaient les notions de longueur et de temps absolus, ils admettaient la notion de mouvement absolu. Un corps, un élément matériel, fût-il seul dans l'univers, occupe à chaque instant dans l'espace une position, un volume déterminé, qui peut ou non changer quand le temps varie.

C'est le mouvement absolu des corps matériels qui est soumis au principe de causalité.

Mais quel sens précis les Coperniciens donnaient-ils à ce principe ?

Pour l'expliquer plus nettement, je me placerai provisoirement dans l'hypothèse simpliste où l'univers serait formé d'atomes identiques de dimensions inappréciables, dont chacun reste identique à soi-même et ne peut, par conséquent, que se déplacer dans l'espace.

Considérons un système d'atomes, extrêmement éloigné de tous les autres corps. Si, à deux instants différents, ce système se trouve placé dans les mêmes conditions initiales, les mêmes mouvements absolus se reproduiront à partir des deux instants considérés. Si les conditions initiales ne se trouvent reproduites qu'à un transport près dans l'espace, les mêmes mouvements se reproduiront à ce transport près dans l'espace. Enfin si les conditions initiales présentent une certaine symétrie, la même symétrie apparaîtra dans les mouvements absolus du système.

Voilà ce qu'exprime le principe de causalité.

Mais qu'appellera-t-on *conditions initiales* du système ? C'est là que résidait toute la difficulté de l'interprétation du principe, et c'est là que les Coperniciens faisaient plus ou moins consciemment appel à l'expérience et notamment aux observations de la chute des corps.

Nous pouvons lancer une pierre dans une direction donnée, avec une vitesse plus ou moins grande ; autrement dit, nous pouvons l'abandonner en une position arbitraire, avec une vitesse arbitraire en grandeur et en direction. Mais le mouvement ultérieur de la pierre est dès

lors déterminé. Partant de cette observation vulgaire, les Coperniciens admettaient que les conditions initiales d'un système matériel sont les positions et les vitesses de ses atomes.

Imaginons, en particulier, que le système se réduise à un seul élément matériel, et considérons la droite définie par la position et la vitesse initiales de cet élément. Les conditions initiales sont évidemment symétriques par rapport à cette droite; le mouvement sera donc symétrique par rapport à cette droite, c'est-à-dire qu'il aura lieu suivant cette droite. Si la vitesse initiale est nulle, les conditions initiales sont symétriques par rapport à la position initiale de l'élément; l'élément demeure immobile.

Le principe de causalité ainsi interprété conduit donc à la conclusion suivante :

Un élément matériel infiniment[1] *éloigné de tous les autres reste absolument fixe si sa vitesse initiale est nulle, et décrit une droite s'il est animé d'une vitesse initiale.*

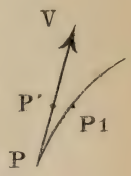
Pour certaines raisons de *simplicité* appuyées d'observations astronomiques sur lesquelles nous reviendrons, les Coperniciens admettaient que le mouvement absolu de l'élément est non seulement rectiligne, mais uniforme. Le principe de l'inertie qu'ils inscrivaient en tête de la dynamique s'énonce donc ainsi :

Le mouvement absolu d'un élément matériel infiniment éloigné de tous les autres est rectiligne et uniforme.

1. Le mot *infiniment* signifie que la proposition est d'autant plus exacte que l'élément matériel est plus éloigné de tous les autres.

Supposons maintenant que certains corps soient proches de l'élément considéré P, par exemple un aimant, ou un fil attaché à P, etc. Le mouvement de P ne sera plus, en général, rectiligne et uniforme ; sa trajectoire sera une certaine courbe, sa vitesse changera en direction et en grandeur. On dira alors que les corps voisins exercent sur P une certaine force. Mais comment *mesurer cette force* ?

Considérons un très petit intervalle de temps, le plus court par exemple que nous sachions actuellement mesurer. Au début de cet intervalle, l'élément P a une certaine position et une certaine vitesse ; s'il était infiniment éloigné de tous les autres corps, sa position à la fin de l'intervalle serait P', tandis qu'en fait elle est P_1 ; pendant l'intervalle de temps considéré, la présence de corps voisins a donc fait *dévier* l'élément de P' en P_1. On dira que la force qui pendant ce petit intervalle de temps s'exerce sur l'élément a comme direction et sens la direction et le sens P' P_1 et qu'elle est proportionnelle à la fois à l'intensité de cette déviation et au nombre d'atomes qui composent l'élément P.



Cette définition, qui substitue à la notion vulgaire et imprécise de force une quantité mesurable, apparaît comme naturelle si on réfléchit que la grandeur dirigée qui représente mathématiquement la force a le sens de la déviation dont cette force est la cause, et qu'elle est proportionnelle à la fois à la grandeur de cette déviation et à la quantité de matière déviée.

J'ai parlé d'un *très petit* intervalle de temps; en réalité, c'est d'une durée *infiniment petite* qu'il s'agit, et c'est la déviation infinitésimale de l'élément pendant cette durée qui intervient dans la définition rigoureuse de la force à chaque instant. Cette déviation infinitésimale est caractérisée par la grandeur dirigée que les mathématiciens appellent *l'accélération*. La notion d'accélération ne pouvait être dégagée des phénomènes du mouvement sans l'emploi du calcul infinitésimal, et tant qu'elle n'était pas acquise, la dynamique ne pouvait être créée. Copernic et ses disciples avaient l'idée nette de la vitesse comme d'une grandeur dirigée, mais c'est Galilée qui a introduit la notion d'accélération, et c'est à la découverte de cette notion que lui ont surtout servi ses expériences sur la chute des corps et le plan incliné. Il convient de remarquer que le calcul infinitésimal seul, s'il eût été assez avancé, aurait conduit, sans aucune expérience, à la notion, purement géométrique, d'accélération. Mais, historiquement, c'est au contraire l'observation des mouvements qui a inspiré toutes les découvertes du calcul infinitésimal, et c'est sous le vêtement mécanique qu'elles se sont présentées d'abord aux regards des chercheurs.

La mesure de la force étant ainsi déduite de l'analyse différentielle des mouvements, le calcul intégral permet d'effectuer l'opération inverse et de calculer le mouvement fini d'un élément matériel connaissant (en outre de ses conditions initiales) la force qui s'exerce sur lui à chaque instant.

Ce n'est pas tout : l'analyse infinitésimale ainsi opérée dans le temps, pouvait aussi, grâce au

principe de la *composition des forces*, être effectuée dans l'espace. Quand deux corps sont simultanément en présence d'un élément matériel, la force qu'ils exerçent sur cet élément est la diagonale du parallélogramme construit sur les deux forces qu'exercerait sur P chacun des deux corps s'il était seul. Cette règle, établie en Statique[1], Galilée et Newton l'admettaient en Dynamique. Comme elle s'étend immédiatement au cas où plusieurs corps, au lieu de deux, sont en présence de P, on conçoit immédiatement qu'elle permette, à l'aide du calcul différentiel, de décomposer la force totale qu'un corps quelconque. S exerce sur un élément matériel P en forces exercées sur P par les divers éléments de S. En un mot, l'opération que les mathématiciens appellent *différentiation* est capable de résoudre les phénomènes les plus complexes du mouvement en *actions élémentaires*, j'entends en actions qui s'exerçent entre éléments de matière pendant un temps infinitésimal. Inversement, connaissant les conditions initiales d'un système matériel et les lois de ses actions élémentaires, l'opération dite *intégration* permet de sommer, en quelque sorte, dans le temps et dans l'espace ces actions élémentaires et de reconstituer, par la combinaison et la répétition de ces phénomènes infinitésimaux, le phénomène intégral dans sa complexité.

1. Le principe de la composition des forces en statique était connu et correctement appliqué dans l'antiquité et au moyen âge. Les cathédrales gothiques en sont une illustration. Galilée ne l'énonce pas explicitement, mais il l'emploie. Stevin, contemporain de Galilée, en donne un énoncé absolument général.

LE PRINCIPE DE L'ACTION ET DE LA RÉACTION.

Nous n'avons pas épuisé les conséquences qu'entraîne le principe de causalité. Imaginons un système très éloigné de tous les autres corps et formé de deux éléments matériels *identiques* P et P_1, dont les vitesses initiales sont nulles. Les conditions initiales du système sont évidemment symétriques par rapport à la droite qui joint les positions initiales des deux points, et aussi par rapport au milieu, soit O, de ces positions : le mouvement aura donc lieu sur cette droite et le point absolument fixe O restera le milieu des deux points. Il suit de là aussitôt que les forces exercées l'un sur l'autre par les deux éléments seront à chaque instant égales et directement opposées.

Galilée admettait comme évident que la force que deux éléments exercent l'un sur l'autre ne dépend que de leurs positions et non de leurs vitesses absolues[1]. D'après cela, supposons que les vitesses initiales des deux points identiques P et P_1 soient quelconques : ils décriront des trajectoires curvilignes, mais les forces qu'ils exerceront l'un sur l'autre à chaque instant seront les mêmes que si leurs vitesses étaient nulles, et par suite seront égales et directement opposées.

1. Il serait téméraire de regarder ce postulat nouveau comme une conquête expérimentale, car on se demande de quelles expériences Galilée l'aurait déduit. Il est bien plutôt un vestige des anciens principes scholastiques dont nous parlons plus loin et dont Galilée était beaucoup moins dégagé qu'on ne le pense généralement. Heureux vestige d'ailleurs, car le nouveau postulat a singulièrement contribué au développement de la Mécanique (voir p. 396 et 408).

C'est le principe de l'action et de la réaction dans un cas particulier.

En combinant le résultat précédent avec la loi de composition des forces, on peut étendre le principe au cas général où chacun des deux éléments est formé d'un nombre quelconque d'atomes.

Mais toutes nos définitions supposent les éléments matériels formés d'atomes identiques. Or c'est là une hypothèse invérifiable, et contredite d'ailleurs par la plupart des théories modernes de la matière. Il faut donc s'en débarrasser. Rien de plus facile au point où nous en sommes. Il suffit d'admettre qu'à chaque élément matériel on peut adjoindre un nombre qu'on appellera sa *masse* et qui répond aux conditions suivantes :

1° Il reste le même quelles que soient les transformations subies par l'élément pourvu que celui-ci ne perde ni n'acquière aucune parcelle de matière ;

2° Toutes les propositions énoncées ci-dessus en regardant la masse d'un élément comme le nombre de ses atomes, sont vraies.

Le corps des axiomes de la mécanique se trouve ainsi constitué indépendamment de toute arrière-pensée sur la composition de la matière.

LE REPÉRAGE ABSOLU DES MOUVEMENTS

Mais les axiomes ainsi inscrits en tête de la mécanique concernent le mouvement absolu. Or, que cette notion ait ou non un sens, la même difficulté se pose qu'au sujet des longueurs et des durées absolues. Notre observation directe n'atteint que des mouvements relatifs :

entre deux corps qui se déplacent l'un par rapport à l'autre, pourquoi regarder l'un comme fixe et l'autre comme mobile?

Dira-t-on qu'il suffit d'adopter *au hasard* un repérage des mouvements et de s'y tenir, en un mot de choisir arbitrairement une fois pour toutes les repères qu'on regarde comme fixes et de leur rapporter tous les mouvements de l'univers? Mais il est bien évident que les axiomes de la mécanique ne sauraient être vrais dans un repérage quelconque. Considérons, par exemple, trois directions allant du centre du soleil à trois étoiles déterminées, et rapportons les mouvements au trièdre ainsi défini : le mouvement d'un élément matériel très éloigné de tous les autres est alors, comme nous l'allons voir, sensiblement rectiligne et uniforme. Rapportons au contraire les mouvements à la terre regardée comme fixe : le même élément matériel décrit une spirale, comme tout à à l'heure l'hirondelle par rapport au ballon tournoyant. Le principe de l'inertie, vérifié dans le premier repérage, ne l'est plus dans le second.

Quelle est donc la signification positive des axiomes coperniciens? C'est évidemment la suivante :

Il est possible d'adopter, une fois pour toutes et pour tous les mouvements de l'univers, un mode de repérage tel que les axiomes de la mécanique soient vrais toujours et partout.

Ce mode de repérage, comment le déterminer?

Les Coperniciens admettaient que la vitesse absolue des corps de l'univers ne doit pas dépasser une certaine limite. Si plusieurs corps

sont colossalement éloignés les uns des autres, leurs déplacements absolus pendant un siècle par exemple sont négligeables devant leurs distances; la droite qui joint deux d'entre eux garde donc une direction absolument fixe, et les directions qui vont d'un des corps aux autres font entre elles des angles invariables. Cette considération conduisait les Coperniciens à regarder comme absolument fixes les directions qui vont de la terre (ou du soleil) aux étoiles.

Imaginons maintenant trois directions allant du centre du soleil à trois étoiles choisies une fois pour toutes, et rapportons tous les mouvements au trièdre ainsi défini : les planètes du système solaire décrivent sensiblement, avec une vitesse constante, des cercles concentriques au soleil. Le mouvement d'une planète pendant quelques jours ressemble d'autant plus à un mouvement rectiligne et uniforme qu'elle est plus éloignée du soleil. Le principe de l'inertie et plus généralement tous les axiomes de la mécanique sont vérifiés sensiblement si les mouvements sont ainsi repérés. Ils ne le seraient pas si ce trièdre de directions fixes par rapport aux étoiles avait comme sommet le centre de la terre; ils le seraient moins encore si le trièdre était lié invariablement à la terre et tournait avec elle.

Les axiomes coperniciens entraînent donc l'affirmation du double mouvement absolu de la terre : rotation sur elle-même et circulation de son centre autour du soleil.

En définitive, de même qu'il nous impose une mesure des longueurs et une mesure du temps, le principe de causalité, une fois admis, nous

impose un certain repérage des mouvements. Le repérage que nous venons de définir ci-dessus répond sensiblement au principe de causalité et aux axiomes coperniciens; mais il est évident que les remarques faites au sujet des mesures de longueur et de temps, peuvent se répéter ici : le repérage adopté est susceptible de perfectionnements, et en fait a déjà été perfectionné. C'est ainsi que l'origine du trièdre de référence doit être, non le centre du soleil, mais le centre de gravité du système solaire, point mobile par rapport au centre du soleil, mais qui s'en écarte peu.

Ce qui est essentiel, c'est d'admettre qu'un repérage des mouvements universels est *possible* tel que les axiomes classiques de la mécanique soient vrais : quant à la détermination effective de ce repérage, elle doit faire l'objet d'une approximation indéfinie, d'autant plus précise que nos mesures deviendront elles-mêmes plus précises.

Il importe toutefois de signaler une indétermination que comporte le repérage absolu des mouvements et qui n'a point d'analogue dans la mesure des longueurs et du temps. D'après la doctrine copernicienne, les mouvements satisfont aux axiomes énoncés plus haut s'ils sont rapportés à un trièdre absolument fixe : mais il est facile de démontrer mathématiquement qu'il en est encore ainsi quand le sommet du trièdre de référence, au lieu d'être fixe, décrit une droite avec une vitesse constante, les arêtes gardant des directions absolument fixes. Si donc on a déterminé expérimentalement un trièdre de référence tel que les mouvements répondent aux axiomes de la mécanique, on ne peut affirmer

que ce trièdre soit absolument fixe ; on sait seulement que les directions de ses arêtes sont absolument fixes et que son sommet est ou immobile, ou animé d'un mouvement absolu rectiligne et uniforme. En un mot, le repérage absolu des mouvements n'est défini de par les axiomes classiques de la mécanique, qu'à une translation près rectiligne et uniforme. Cette indétermination, sur laquelle nous revenons plus loin, ne présente d'ailleurs aucun inconvénient quant au développement de la mécanique ; qu'on adopte un quelconque des repérages absolus entre lesquels on a ainsi le choix, on démontre que les forces absolues telles que nous les avons définies restent les mêmes.

LA MÉCANIQUE SCHOLASTIQUE ET LA MÉCANIQUE COPERNICIENNE

Les scholastiques, comme les Copernicien, partaient des notions de temps, de longueur et de mouvement *absolus*, et comme les Copernicien, ils admettaient que les mouvements absolus satisfont au principe de causalité. Quel était donc le point de divergence précis des deux doctrines ?

Considérons, comme plus haut, un système d'éléments matériels dont chacun reste identique à soi-même, et supposons ce système colossalement éloigné de tous les autres corps. Pour les Copernicien comme pour les scholastiques, l'état du système à un instant donné, (ou, si on veut, l'état initial du système) détermine son avenir, c'est-à-dire son mouvement absolu. Mais pour les scholastiques, l'état initial du système, ce

sont les positions de ses éléments à l'instant initial, et rien d'autre; pour les scholastiques, ce sont les positions *et les vitesses* à l'instant initial.

En particulier, supposons que le système se réduise à un seul élément : par raison de symétrie (p. 386), la doctrine scholastique entraîne cette conséquence que l'élément reste nécessairement immobile. Le principe de l'inertie scholastique s'énonçait ainsi : *Tout élément matériel infiniment éloigné des autres reste absolument fixe.*

Pour les scholastiques, il n'y a donc pas de *vitesse acquise* : que d'un élément matériel en mouvement on écarte brusquement et à grande distance tous les autres corps, l'élément s'arrête brusquement. D'après les Coperniciens, au contraire, il garde sa vitesse en grandeur, direction et sens.

Pour les scholastiques, ce sont les corps voisins qui à chaque instant communiquent à un élément matériel sa vitesse; pour les Coperniciens, les corps voisins modifient, à chaque instant, d'une façon continue, en grandeur et direction, la vitesse acquise de l'élément.

Cette divergence sur le principe de l'inertie suffit à creuser un abîme entre les deux doctrines. Considérons, par exemple, un système de deux éléments matériels, infiniment éloigné des autres corps, et supposons que les deux éléments s'attirent : si la vitesse initiale de chaque élément est nulle, les deux éléments se meuvent sur la droite qui les joint et viennent se choquer; mais si les vitesses initiales ne sont pas nulles et ont des directions quelconques, que doit-il arriver d'après la doctrine copernicienne ? Chaque

élément décrira une trajectoire curviligne en déviant à chaque instant de la direction de sa vitesse actuelle vers l'autre élément, et les deux éléments ne se heurteront pas. D'après la doctrine scholastique, tout se passera comme dans le cas où les vitesses initiales sont nulles, et les deux éléments viendront se heurter.

C'est ce qui explique l'objection opposée par les scholastiques au système de Copernic et à l'hypothèse du mouvement de la terre : « Pourquoi la terre, pourquoi les planètes ne tombent-elles pas sur le soleil[1] ? »

Le principe de l'inertie tel qu'ils l'énonçaient aurait dû conduire les scholastiques à cette conclusion que les étoiles sont fixes. Mais leur mécanique n'eût pas été pour cela plus capable d'expliquer les mouvements terrestres ou les phénomènes astronomiques. Dans ces conditions, ils n'avaient point de motif assez fort pour contredire à la fois le préjugé géocentrique vulgaire, le dogme religieux et l'autorité d'Aristote.

1. Képler répondait à cette objection en admettant que les planètes ont une âme qui les guide sur leurs trajectoires. Cette réponse suffirait à prouver que Képler n'est point l'auteur du principe classique de l'inertie qui porte son nom, et qu'il n'en avait point pénétré le sens. En fait, ce principe est au fond de toute la doctrine de Copernic et de son école, mais parce qu'il entraînait comme conséquence le mouvement de la terre, il n'apparaît que sous une forme prudente et dissimulée. Si Képler, qui avait reçu ce principe de l'école copernicienne, l'avait approfondi aussi bien que Galilée, s'il avait compris que le mouvement d'un élément est une sorte de compromis perpétuel entre sa vitesse acquise et la force qui s'exerce sur lui, c'est lui qui eût découvert l'attraction universelle, dont les lois se trouvent dans ses équations.

Ils regardaient donc la terre comme immobile, et les mouvements absolus étaient, pour eux, les mouvements rapportés à la terre : mais ces mouvements ne répondaient nullement aux principes péripatéticiens et ni les dissertations sur l'influence de l'air, ni la distinction entre mouvements *naturels* (mouvements des astres) et mouvements *forcés* (mouvements imposés par des forces) ne parvenaient à concilier la mécanique d'Aristote et la réalité.

En définitive, la doctrine des scholastiques n'avait rien d'absurde *a priori*. On peut même dire que leur interprétation précise du principe de causalité était la première qui dût se présenter à l'esprit et être mise à l'épreuve. Leur tort fut de s'obstiner dans cette première interprétation et de prétendre y plier les faits malgré tout. Adoptant quant au reste les idées scholastiques, les Coperniciens se bornèrent à tenir compte des observations vulgaires pour modifier sur un point (définition des conditions initiales) l'interprétation du principe de causalité, et cette modification suffisait pour que le principe s'accordât avec la réalité et pour que la mécanique, immobile pendant des siècles, prît son prodigieux essor.

Entre l'école scholastique et l'école copernicienne une école intermédiaire s'était formée à la suite de Tycho-Brahé. Cette école, dont la doctrine se rapproche singulièrement de celle des sceptiques modernes, rejetait la notion de mouvement absolu : tous les repérages des mouvements se valent et il n'y a pas de raison d'adopter l'un plutôt que l'autre. Qu'on rapporte les mouvements à la terre, la terre est fixe ; qu'on les

rapporte au contraire à des directions issues du soleil et qui accompagnent les étoiles, la terre a un double mouvement. Simple question de convention. — Cette doctrine est inattaquable au point de vue purement descriptif, mais non pas au point de vue de la recherche des causes. Ce qui lui échappait, et ce que Galilée au contraire faisait ressortir avec vigueur, c'est que le principe de causalité et en particulier le corollaire de la symétrie (p. 372) ne sauraient être vérifiés que moyennant un repérage spécial des mouvements, et non dans un repérage quelconque.

RÔLE DE L'EXPÉRIENCE DANS LA GENÈSE DE LA MÉCANIQUE

Résumons la méthode qui a guidé les fondateurs de la mécanique.

Nos contacts quotidiens avec le monde extérieur nous imposent le principe de causalité. Ils nous l'imposent si impérieusement qu'il nous est bien difficile de concevoir un univers où les faits n'auraient point de causes et naîtraient en quelque sorte au hasard sans être engendrés par les faits antérieurs; mais ils nous l'imposent sous une forme vague.

Le postulat fondamental de la mécanique, c'est que les mouvements absolus (c'est-à-dire au fond les mouvements convenablement repérés) satisfont *rigoureusement* au principe de causalité. Mais pour tirer du principe des conséquences *rigoureuses*, il est indispensable de le préciser.

L'interprétation du principe par les scholastiques était trop étroite ; s'inspirant des observations les plus simples, les Coperniciens ont

corrigé cette interprétation, et le principe de causalité, précisé exactement, les a conduits à un énoncé presque intégral du principe de l'inertie. Les observations astronomiques sont intervenues pour compléter et confirmer cet énoncé. L'étude expérimentale de la chute des corps a révélé à Galilée la notion d'accélération ; la statique, déjà connue des anciens, a fourni le principe de la composition des forces. Ces notions une fois acquises, c'est par un effort logique que les axiomes de la mécanique ont été déduits du principe de causalité. Il ne restait plus à Newton et à Huyghens qu'à codifier ces axiomes et à les illustrer par d'éclatantes vérifications.

Les axiomes de la mécanique s'appliquent aux mouvements absolus. Mais c'est un simple jeu, pour le mathématicien, d'en déduire les propriétés des mouvements repérés d'une façon quelconque, notamment des mouvements rapportés à la terre. Ce sont évidemment ces derniers mouvements et leurs lois qui intéressent le plus les hommes au point de vue des applications. Aujourd'hui que nous connaissons ces lois, il nous serait possible de les vérifier par des expériences directes. Il n'y a donc point de difficulté à donner des axiomes de la mécanique un exposé strictement positif, basé sur l'expérience et indépendant de toute arrière-pensée sur le mouvement absolu et le principe de causalité. Mais c'est là un exposé artificiel, et il est invraisemblable que cette voie empirique eût jamais conduit à la découverte des lois fondamentales du mouvement.

En définitive, la méthode expérimentale n'a joué qu'un rôle auxiliaire dans la formation de la

mécanique. Ce sont des idées générales, précédant toute expérience scientifique, qui ont engendré les axiomes de cette science, et le rôle de l'expérience a été surtout de préciser ces idées générales et de guider les tâtonnements qu'entraînait leur interprétation. Ce sont ces idées générales qui ont permis de retrouver et de suivre les fils enchevêtrés des lois simples dans la trame complexe des phénomènes. Comme elles concernaient le mouvement absolu, on comprend comment la théorie des mouvements terrestres, qui s'imposaient à nos sens, n'a pu progresser qu'avec celle du mouvement vrai des corps célestes.

LA DOCTRINE COPERNICIENNE ET LES PHÉNOMÈNES NON MÉCANIQUES

Les Coperniciens ont donné du principe de causalité un énoncé exact et scientifique, dans le cas des phénomènes purement mécaniques. Mais quand des phénomènes non mécaniques (thermiques, électriques, etc.) accompagnent les déplacements des corps matériels, quel est le sens précis du principe ?

Considérons un système matériel *isolé*, j'entends soustrait à toute influence extérieure, par exemple infiniment éloigné des autres corps matériels et entouré d'une enceinte qui arrête toute radiation. Le principe de causalité exprime que l'état actuel du système détermine son avenir ; plus exactement, si, à deux instants, le système se retrouve dans le même état à un transport près dans l'espace, les mêmes phénomènes s'y produisent après les deux instants, au même transport près dans l'espace.

Mais qu'entendra-t-on par *état actuel* du système ? Est-ce son état à l'instant précis considéré ? L'exemple des scholastiques nous montre combien cette interprétation est dangereuse si elle n'est pas précisée. — Est-ce l'état du système pendant un certain intervalle de temps, si petit qu'il soit ? Mais on restreint alors singulièrement la portée du principe : dans le cas des phénomènes purement mécaniques par exemple, l'étude des mouvements pendant un intervalle de temps, si petit qu'il soit, fait connaître non seulement la position et les vitesses des éléments du système, mais encore leurs accélérations, leurs accélérations du second ordre, etc. On voit combien cette conclusion différerait de l'interprétation copernicienne.

L'énoncé général du principe de causalité doit être calqué sur l'énoncé qui convient au cas particulier des phénomènes purement mécaniques :

« Si, à deux instants, les *conditions initiales* d'un système isolé sont les mêmes à un transport près dans l'espace, les mêmes phénomènes se produisent dans le système après les deux instants à ce transport près dans l'espace.

Corollaire. Si les conditions initiales du système présentent une certaine symétrie, le système présente indéfiniment la même symétrie. »

Mais dans l'étude de chaque classe de phénomènes (phénomènes thermiques, électriques, lumineux, etc.), la même difficulté se présentera que dans l'étude des phénomènes du mouvement : il faudra définir avec précision d'une part *la mesure absolue* des phénomènes étudiés, d'autre part les *conditions initiales*.

Le postulat général qui doit être inscrit en tête de la science, si on admet qu'elle puisse être un jour entièrement quantitative, est donc le suivant :

Il est possible, une fois pour toutes, pour chaque classe de phénomènes, d'adopter une définition de leurs mesures et de leurs conditions initiales telle que le principe énoncé ci-dessus soit vrai toujours et partout[1].

On donnera le nom de mesures *absolues* aux mesures ainsi adoptées.

En particulier, la mesure des longueurs, celle du temps, le repérage absolu des mouvements sont adoptés une fois pour toutes, et les mêmes pour tous les phénomènes si complexes qu'ils soient. Les longueurs étant ainsi mesurées, la géométrie euclidienne est vraie (p. 377) ; les longueurs, le temps et les mouvements étant ainsi mesurés, les axiomes de la mécanique (p. 391) sont vrais.

Tels sont les principes qui résultent de la doctrine copernicienne et auxquels se plie toute recherche positive depuis trois siècles. Ils constituent des sortes de *directives* sur lesquelles la plupart des savants se guident instinctivement et sans y avoir jamais réfléchi. On ne les discute guère, car il semble que leur discussion ne puisse plus conduire à des découvertes nouvelles. Les admirables travaux de P. Curie sur la symétrie des milieux cristallisés, où l'axiome de la symétrie des causes joue le rôle essentiel, montrent

1. Nous n'avons parlé que de systèmes isolés. Pour passer au cas des systèmes influencés par des corps extérieurs, il faudrait suivre, pour chaque classe de phénomènes, la même marche qu'en mécanique (p. 387).

pourtant la fécondité que possèdent encore ces principes quand on prend la peine de les approfondir.

INFLUENCE DU PASSÉ SUR L'AVENIR DES SYSTÈMES MATÉRIELS

L'état d'un corps matériel à un instant donné dépend évidemment des circonstances antérieures qu'il a traversées. Mais pour prévoir ses états ultérieurs, il suffit de connaître ses conditions initiales à l'instant considéré, sans savoir comment il a été amené à cet état. Par exemple, la position et la vitesse d'un projectile à un instant donné dépendent de l'explosif et de l'arme qui l'ont lancé, des milieux par lesquels il est passé; mais pour calculer le mouvement ultérieur du projectile on n'a besoin de connaître que sa position et sa vitesse actuelles.

Toutefois, dans beaucoup d'applications, et notamment quand l'état *moléculaire* des corps du système intervient d'une façon appréciable dans les phénomènes, il peut être très difficile, il peut même être impossible encore à notre technique expérimentale, de déterminer directement avec une précision suffisante les conditions initiales d'un système.

Considérons, par exemple, deux clous sortis identiques de la même fabrique, mais dont l'un a été martelé à plusieurs reprises tandis que l'autre restait dans un tiroir. Le premier clou n'est pas dans le même état moléculaire que le second; il a subi des déformations permanentes; une étude microscopique suffisamment précise nous le montrerait. Mais si nous ne possédons

pas de microscope assez puissant, les deux clous nous sembleront identiques ; nous serons incapables de discerner les différences de leur état moléculaire actuel. Qu'on nous dise alors que le premier clou a été martelé et comment il l'a été : nous serons avertis du genre de déformation qu'il a subi ; la connaissance du passé du clou supplée provisoirement à l'absence de microscope.

Ce que nous venons de dire pour la déformation d'un clou, on peut le répéter pour toutes les déformations permanentes. L'*histoire* d'un corps (telle que le dossier des déplacements du zéro d'un thermomètre de précision) vient en aide à l'impuissance actuelle de notre technique, ou supprime les complications que cette technique entraînerait. C'est là un stade nécessaire de l'étude moléculaire des corps, mais ce n'est qu'un stade, et il faut se garder de tirer d'une méthode transitoire des conclusions aussi aventureuses qu'injustifiées, et notamment de l'opposer à la doctrine copernicienne. La conception d'après laquelle, pour prédire l'avenir d'un système matériel, il faudrait connaître tout son passé, est la négation même de la science.

SUR LES MODIFICATIONS POSSIBLES DES AXIOMES DE LA MÉCANIQUE

La mécanique classique a été l'objet de critiques d'une toute autre nature, depuis la découverte des phénomènes radioactifs. Ces critiques se relient essentiellement à la notion de mouvement absolu.

Considérons un trièdre que nous appellerons

trièdre solaire, dont le sommet est le centre du soleil et dont les arêtes visent trois étoiles déterminées. Nous avons vu que ces arêtes ont des directions absolument fixes, et que le sommet du trièdre est animé d'un mouvement absolu, rectiligne et uniforme[1].

Peut-on déterminer expérimentalement la vitesse de ce mouvement ?

Les observations astronomiques fournissent une première réponse à cette question.

Les étoiles sont à des distances telles du soleil et de la terre que leurs déplacements séculaires sont, avons-nous dit, négligeables devant ces distances. Toutefois certaines étoiles exceptionnelles assez nombreuses, les plus voisines du soleil, subissent, des déplacements séculaires appréciables. Or ces déplacements, rapportés au trièdre solaire, présentent en dépit de leur diversité, une sorte d'orientation d'ensemble, comme des graines vannées dans un courant d'air. Il semble qu'elles soient emportées en sens inverse de la constellation d'Hercule avec une vitesse d'environ 25 kilomètres à la seconde. Mais il n'y a aucune raison de supposer que le soleil soit absolument fixe plutôt qu'une autre étoile, et il est invraisemblable qu'une cause commune[2] ait orienté les mouvements d'astres si colossalement éloignés : on fait disparaître cette apparence en admettant que le trièdre solaire est emporté vers

1. En réalité, il faudrait donner comme sommet au trièdre le centre de gravité du système solaire, point peu différent du centre du soleil et que la mécanique céleste permet de déterminer à chaque instant.

2. Voir p. 380.

la constellation d'Hercule avec une vitesse de 25 kilomètres à la seconde. Un trièdre dont les arêtes sont parallèles à celles du trièdre solaire et dont le sommet décrit par rapport à ce trièdre, avec une vitesse de 25 kilomètres à la seconde, une droite dirigée en sens inverse de la constellation d'Hercule, est *absolument fixe*.

La théorie ondulatoire de la lumière est également en étroite connexion avec la question du mouvement absolu. Dans cette théorie, l'ensemble de l'éther qui remplit les espaces intrastellaires est immobile, abstraction faite de ses petites vibrations et de perturbations locales. Dans cet éther, c'est-à-dire par rapport à un trièdre absolument fixe, la lumière se propage en ligne droite, avec une vitesse uniforme, la même dans tous les sens[1]. On conçoit donc que l'étude de la vitesse de propagation de la lumière dans diverses directions devrait conduire à la détermination de la vitesse absolue du centre du soleil. Mais de nombreuses difficultés (notamment l'entraînement possible de l'éther par la matière) font que la question est encore controversée.

La théorie des phénomènes radioactifs fait intervenir tout autrement les mouvements absolus et a conduit certains savants à modifier le

1 Pour un observateur terrestre (qui rapporte les mouvements à la terre), la lumière décrit une sorte de spirale dont chaque spire correspond à un tour de la terre sur elle-même. Mais s'il s'agit d'un rayon lumineux terrestre, le déplacement de la terre est négligeable pendant le temps (1/3.000e de seconde) employé par la lumière à parcourir 100 kilomètres, par exemple : tout se passe sensiblement comme si la terre était immobile, et un rayon lumineux de plusieurs centaines de kilomètres apparaît comme rectiligne à l'observateur.

principe de l'action et de la réaction. Cette modification contredit-elle la doctrine copernicienne ? C'est ce que je voudrais examiner en terminant cette étude.

Considérons deux éléments matériels infiniment éloignés de tous les autres et que (pour simplifier) je supposerai identiques. D'après la doctrine copernicienne, si à l'instant considéré la position et la vitesse absolues de chacun de ces éléments sont données, leur mouvement ultérieur est déterminé et présente les mêmes symétries que leurs conditions initiales. En particulier, si les vitesses initiales sont nulles, ou si elles sont égales et directement opposées, les mouvements absolus des deux éléments ont lieu suivant la droite absolument fixe qui joint leurs positions initiales, et le milieu des deux points est absolument fixe : dans ce cas particulier, les deux forces absolues que les deux éléments exercent l'un sur l'autre sont nécessairement égales et directement opposées. Mais, en dehors de ce cas particulier, le principe de causalité copernicien n'entraîne rien de pareil. Si les vitesses initiales des deux éléments sont dirigées selon la droite qui les joint, les deux forces absolues qui s'exercent entre les deux points sont dirigées selon cette droite, mais non pas nécessairement égales et opposées. Si les positions et les vitesses initiales des deux éléments sont dans un même plan, les deux forces qu'ils exercent l'un sur l'autre sont dans ce plan, mais non pas nécessairement dirigées selon la droite qui les joint. Enfin, si les vitesses initiales ont des directions et des valeurs quelconques, les deux forces peuvent avoir une direction quelconque.

C'est un postulat nouveau de Galilée qui entraîne le principe de l'action et de la réaction. Galilée admet (p. 390) que les forces exercées par deux éléments l'un sur l'autre ne dépendent que de leurs positions et point de leurs vitesses. Ce postulat admis, les forces que deux éléments identiques exercent l'un sur l'autre sont nécessairement égales et opposées. Mais nous avons dit que le postulat de Galilée est un vestige des idées scholastiques. Il s'est trouvé vérifié par l'expérience de la manière la plus satisfaisante, mais seulement pour les vitesses qui ne dépassent pas une certaine limite et notamment ne sont point comparables à la vitesse de la lumière. Il convient donc de considérer le postulat de Galilée comme susceptible d'être en défaut pour les vitesses absolues colossales des éléments matériels, et c'est à une telle conclusion (encore fort discutable d'ailleurs) qu'aboutissent les théories modernes de la radioactivité.

Mais lors même que ces théories devraient être confirmées par l'avenir, on voit qu'elles ne contredisent nullement la doctrine copernicienne, qui demeure la méthode fondamentale de la science moderne. Elles ne font bien plutôt que la confirmer.

P. Painlevé
de l'Institut,
Professeur à la Sorbonne.

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos, par P.-F. Thomas, docteur ès lettres, agrégé de philosophie 1

De la Science, par Emile Picard, de l'Académie des Sciences, professeur à la Sorbonne 1

Mathématiques pures, par Jules Tannery, de l'Institut, sous-directeur de l'Ecole normale supérieure 31

Mécanique, par P. Painlevé, de l'Institut, professeur à la Sorbonne [1]. 363

Physique générale, par H. Bouasse, professeur à la Faculté des Sciences de Toulouse 73

Chimie, par A. Job, professeur à la Faculté des Sciences de Toulouse 111

Morphologie, par A. Giard, de l'Institut, professeur à la Sorbonne. 149

Physiologie, par F. Le Dantec, chargé de cours à la Sorbonne. 175

Sciences médicales, par Pierre Delbet, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris . . . 201

1. Par suite de circonstances indépendantes de la volonté de l'éditeur, ce chapitre a dû être reporté à la fin du volume (p. 363), au lieu d'occuper la place qui lui est assignée dans la classification des sciences.

Psychologie, par Th. Ribot, de l'Institut, professeur honoraire au Collège de France 229

Sociologie et Sciences sociales, par E. Durkheim, professeur à la Sorbonne 259

Morale, par L. Lévy-Bruhl, professeur à la Sorbonne 287

Histoire, par G. Monod, de l'Institut, chargé de cours au Collège de France 319

VREUX, IMPRIMERIE CH. HÉRISSEY ET FILS

FÉLIX ALCAN, ÉDITEUR

EXTRAIT DU CATALOGUE

E. DURKHEIM

Professeur à la Sorbonne.

De la division du travail social. 2e édit., 1 vol. in-8. 7 fr. 50

Les règles de la méthode sociologique 4e édit., 1 vol. in-12 . . . . . 2 fr. 50

Le Suicide. *Etude de sociologie.* 1 vol. in-8. . . . . 7 fr. 50

L'année sociologique publiée sous la direction de M. Emile Durkheim, professeur à la Sorbonne, avec la collaboration de MM. Richard, professeur à l'Université de Bordeaux ; Bouglé, professeur à l'Université de Toulouse ; Lapie, professeur à l'Université de Bordeaux ; Foucault, maître de conférences à l'Université de Montpellier ; E. Lévy, chargé de cours à la Faculté de droit d'Aix ; Fauconnet, Hubert, Mauss, Muffang, Parodi, F. Simiand, professeurs agrégés de l'Université. — 10 années parues, 1896-97, 1897-98, 1898-99, 1899-1900, 1900-1901, chacune 10 fr. : 1901-1902, 1902-1903, 1903-1904, 1904-1905, 1905-1906, chacune . . . . . 12 fr. 50

F. LE DANTEC

Chargé du cours d'embryologie générale à la Sorbonne.

Évolution individuelle et hérédité. *Théorie de la variation quantitative.* 1 vol. in-8 cart. à l'anglaise. . . . . 6 fr.

Théorie nouvelle de la vie. 4e édit. revue. 1 vol. in-8, cart. à l'anglaise . . . . . 6 fr.

Le déterminisme biologique et la personnalité consciente. Préface de A. Giard, de l'Institut. 3e édition, 1 vol. in-12. . . . . 2 fr. 50

L'individualité et l'erreur individualiste, 2e édition. 1 vol. in-12 . . . . . 2 fr. 50

Lamarckiens et Darwiniens, *discussion de quelques théories sur la formation des espèces* 3e édit. 1 vol. in-12 . . . 2 fr. 50

L'unité dans l'être vivant. *Essai d'une biologie chimique* 1 vol. in-8 . . . . . 7 fr. 50

Traité de Biologie. 2e édition. 1 vol. grand in-8, ill. 15 fr.

Les limites du connaissable. *La vie et les phénomènes naturels*. 2e édit. 1 vol. in-8 . . . . . 3 fr. 75

Les lois naturelles. *Réflexions d'un biologiste sur les sciences*. 1 vol. in-8, cart. à l'anglaise. . . . . 6 fr.

Introduction à la pathologie générale. 1 fort volume grand in-8. . . . . 15 fr.

Éléments de philosophie biologique. 1 vol. in-16 . 3 fr. 50

L. LÉVY-BRUHL

Professeur à la Sorbonne.

La philosophie de Jacobi. 1 vol. in-8. . . . . 5 fr.

Lettres inédites de J.-S. Mill à Auguste Comte. 1 vol. in-8 . . . . . 10 fr.

La philosophie d'Auguste Comte 2e édit., 1 vol. in-8 7 fr. 50

La morale et la science des mœurs 3e édit. 1 vol. in-8 . . . . . 5 fr.

G. MONOD, de l'Institut.
Chargé de cours au Collège de France

E. DRIAULT
Agrégé d'histoire.

Histoire contemporaine (1815-1908), pour *les classes de philosophie et de mathématiques*. 1 fort vol. in-12, 3e édit. 5 fr.

TH. RIBOT

De l'Institut, professeur honoraire au Collège de France.

L'hérédité psychologique. 8e édit., 1 vol. in-8. . . 7 fr. 50

La psychologie anglaise contemporaine 3e édit. (nouveau tirage) 1 vol. in-8 . . . . . 7 fr. 50

La psychologie allemande contemporaine (*Ecole expérimentale*), 6e édit., 1 vol. in-8 . . . . . 7 fr. 50

La philosophie de Schopenhauer. 11e édit., 1 vol. in-12 . . . . . 2 fr. 50

Les maladies de la mémoire. 20e édit., 1 vol. in-12. 2 fr. 50

Les maladies de la volonté. 24e édit., 1 vol. in-12 . 2 fr. 50

Les maladies de la personnalité. 14e édit., 1 vol. in-12 . . . . . 2 fr. 50

La psychologie de l'attention. 10e édit., 1 vol. in-12 2 fr. 50

La psychologie des sentiments. 7e édit., 1 vol. in-8 7 fr. 50

L'évolution des idées générales. 2e édit., 1 vol. in-8 5 fr.

Essai sur l'imagination créatrice. 3e édit., 1 vol. in-8 5 fr.

La logique des sentiments. 2e édit., 1 vol. in-8 . . 3 fr. 75

Essais sur les passions. 2e édit., 1 vol. in-8 . . . . 3 fr. 75

P.-F. THOMAS

Docteur ès lettres, professeur de philosophie au Lycée de Versailles.

La suggestion. son rôle dans l'éducation intellectuelle, 4e édit., 1 vol. in-12 . . . . . 2 fr. 50

L'éducation des sentiments. 4e édit., 1 vol in-8 . . 5 fr.

Morale et éducation. 1 vol. in-12. . . . . 2 fr. 50

Pierre Leroux. *Sa vie, son œuvre, sa doctrine*. 1 vol. in-8 5 fr.

La philosophie de Gassendi. 1 vol. in-8 . . . . . 6 fr.

L'Éducation dans la famille, *les péchés des parents*. 1 volume in-16 . . . . . 3 fr. 50

Éléments de Philosophie scientifique et morale, 4e édit. 1 vol. in-8 . . . . . 3 fr. 50

BIBLIOTHÈQUE SCIENTIFIQUE
INTERNATIONALE

Beaux ouvrages in-8°, la plupart illustrés, cartonnés à l'anglaise, à **6, 9** et **12** francs.

CENT ONZE VOLUMES PARUS

DERNIERS VOLUMES PUBLIÉS

Espèces et variétés, par H. DE VRIES. Trad. de l'all. par *E. Blaringhem*, chargé de cours à la Sorbonne, 1 vol. . . . 12 fr.

L'Évolution de la vie, par CHARLTON BASTIAN. Traduit de l'anglais avec préface, par *H. de Varigny*. 1 volume avec gravures et planches . . . . . 6 fr.

La dynamique des phénomènes de la vie, par M. J. LOEB. Traduit de l'allemand par MM. *Daudin* et *Schaeffer*. Préface de M. le prof. *A. Giard*, de l'Institut. 1 vol. avec fig . . . 9 fr.

Le rôle sociologique de la guerre et le sentiment national, par le capitaine CONSTANTIN. Suivi de la traduction de *La guerre, moyen de sélection collective*, par le professeur STEINMETZ. 1 vol . . . . . 6 fr.

Parasitisme et mutualisme dans la nature, par L. LALOY. Préface de M. le prof. *A. Giard*, de l'Institut. 1 vol. avec 82 gravures. . . . . 6 fr.

Le Transformisme appliqué à l'agriculture, par J. COSTANTIN, professeur au Muséum. 1 vol. avec 105 gravures . 6 fr.

Physiologie de la Lecture et de l'Écriture, par le Dr E. JAVAL, de l'Académie de médecine 1 vol. avec fig. 2e édit. 6 fr.

L'Évolution inorganique *expliquée par l'analyse spectrale*, par Sir NORMAND LOCKYER. 1 vol. avec figures . . . . . 6 fr.

Les lois naturelles, *Réflexions d'un biologiste sur les sciences*, par FÉLIX LE DANTEC, chargé du cours d'embryologie générale à la Sorbonne. 1 vol. avec fig. . . . . 6 fr.

La Synthèse chimique, par M. BERTHELOT, de l'Institut, 1 volume, 9e édition . . . . . 6 fr.

La Théorie atomique, par AD. WURTZ, de l'Institut, 1 volume. 9e édition . . . . . 6 fr.

L'Espèce humaine, par E. DE QUATREFAGES, de l'Institut, 1 volume, 14e édition . . . . . 6 fr.

Bibliothèques
Université d'Ottawa
Echéance

Libraries
University of Ottawa
Date Due

CE

a39003 000027010b

BD 241 .D4 1909 V1

DE LA METHODE DANS L

CE BD 0241
.D4 1909 V001
COO
ACC# 1018148

DE LA METHOD

U D' / OF OTTAWA
COLL ROW MODULE SHELF BOX POS C
333 07 12 13 18 14 1